

Conservation des sols en zones méditerranéennes

Synthèse et proposition d'une nouvelle stratégie de lutte antiérosive : la GCES

Eric ROOSE

Pédologue à l'Orstom, BP 5045, 34032 Montpellier cedex 1

RÉSUMÉ

En région méditerranéenne, la lutte antiérosive a connu une très longue histoire avec des succès mitigés. Le milieu est fragile : les paysages sont pentus et ravinés à cause de roches tendres alternant avec des roches dures, la végétation est profondément dégradée, les pluies violentes en été et saturantes en hiver provoquent de gros débits de pointe et chassent 1 à 2 fois l'an les sédiments accumulés dans les ravines et les oueds.

Les processus en cause sont variés. Dégradation suite au surpâturage ou au défrichement et à la minéralisation accélérée des matières organiques. Érosion en nappe sélective (0,1 à 10 t/ha/an) et décapage des horizons humifères, par rigole, et surtout par l'érosion mécanique sèche, suite aux multiples façons culturales (10 à 50 t/ha/an, ravinement (100 à 300 t/ha/an et glissements de terrains marneux, déstabilisation des berges des versants. L'érosion spécifique augmente avec le volume des écoulements.

Les mesures quantitatives à l'échelle des petites parcelles et des bassins versants au Maroc, en Tunisie, en Algérie et en France ont fait ressortir quelques conclusions soulignant l'originalité des problèmes de lutte antiérosive en zone méditerranéenne.

1 - Les pluies sont beaucoup moins énergétiques qu'en région tropicale, à part quelques orages de fréquence rare (100 à 400 mm en 1 jour) qui laissent des blessures profondes sur le paysage ;

2 - Les sols (rendzines, vertisols, lithosols, sols rouges fersiallitiques et les sols bruns calcaires) sont assez résistants à la pluie car ils sont argileux, saturés en calcium et souvent couverts de cailloux ;

3 - L'érosion en nappe, négligeable sous végétation naturelle (0,01 à 0,5 t/ha/an) même dégradée, est modérée sous culture peu couvrante (0,1 à 10 t/ha/an sur des pentes de 12 à 40 %) ;

4 - Le ruissellement par contre peut être très abondant lorsque le sol est saturé, peu couvert en hiver. C'est lui le coupable du fort ravinement et des transports solides des oueds qui envasent rapidement les réservoirs ;

5 - Le traitement des ravines commence par la stabilisation et le rehaussement du fond à l'aide de seuils légers : il doit être complété rapidement par la végétalisation des sédiments et des berges jusqu'à l'extinction des sources d'érosion. Le choix judicieux des végétaux en fonction de la diversité des niches écologiques permet de transformer les ravines en « oasis linéaires » produisant fourrages, bois précieux et fruitiers.

Les stratégies de LAE ont beaucoup évolué. Les stratégies traditionnelles, bien adaptées et nombreuses dans cette région semi-aride, sont souvent abandonnées pour des raisons économiques (meilleure valorisation du travail à l'usine). Pour faire face aux graves problèmes de dégradation des terres et d'envasement des barrages, les services techniques centralisés ont imposé des stratégies d'équipement rural (RTM, CES, DRS) mal acceptées par les paysans (perte de productivité des terres, exigence d'entretien). Malgré de puissants moyens, (1 million d'hectares aménagés en terrasse en 30 ans au Maghreb), la dégradation des sols et l'envasement des barrages n'ont pas ralenti. L'auteur propose une nouvelle approche. La GCES : la gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols, qui vise d'abord à répondre aux problèmes des paysans :

- l'augmentation de la productivité des bonnes terres, la valorisation du travail ;

- l'amélioration de la gestion de l'eau et des nutriments, et l'intensification des cultures sur les meilleures terres ;
 - la revégétalisation des terres fragiles (système sylvopastoral à couvert permanent).
- Enfin une série de propositions sont adressées aux deux acteurs principaux :
- Les communautés paysannes, seules capables d'entretenir leur environnement ;
 - L'État, responsable de la formation, des gros travaux de correction torrentielle, des barrages et des routes, de la politique des prix des produits agricoles.

MOTS CLÉS : Lutte antiérosive - Zone méditerranéenne, synthèse - Stratégie - GCES (gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols) - Processus diversifiés - Mesures sur parcelles - Simulation de pluie - Érodibilité des sols - Ruissellement.

ABSTRACT

SOIL CONSERVATION IN MEDITERRANEAN AREAS : GCES, A NEW STRATEGY

Soil conservation has been experienced for centuries in Mediterranean areas, with more or less success. The environment is a critical factor : steep slopes have developed as a result of the succession of soft and hard sedimentary rocks ; the vegetative cover is highly degraded and finally, because of the rainfall violent in summer and saturating the soil in winter. Once a year the maximum flow of the wadies drag out the sediments deposited in gullies and valleys.

A number of processes are involved : soil degradation resulting from overgrazing and clearing, and from a very rapid rate of mineralization of organic matter. Selective sheet erosion (0.1 to 10 t/ha/year), scouring of the topsoil by rill erosion and especially by dry creeping following tillage practices (10 to 50 t/ha/year), gully erosion (100 to 300 t/ha/year), sliding of marl grounds, slope and riverbank destabilization. The specific solid flow increase with the waterflow in the valley.

Measurements on runoff plots and watersheds in Morocco, Tunisia, Algeria and Southern France underline the originality of erosion problems in the Mediterranean semi-arid area :

1 - Rainfall is less energetic than in tropical areas, a few storms excepted (100 to 400 mm a day) which cause deep injuries/gullies in the landscapes ;

2 - Soil (rendzines, vertisols, lithosols, red fersiallitic soils and brown calcareous soils) are well resistant to splash as they are high in clay, calcareous and covered by stones ;

3 - Sheet erosion is negligible (0.01 to 0.5 t/ha/year) under natural vegetation, even under degraded matorral, and moderate on cultivated lands, (0.1 to 10 t/ha/year) ;

4 - On the opposite, runoff may be important in waterlogged conditions with a poor soil cover. It is responsible for the formation of deep gullies, shifting of wadies and rapid silting of reservoirs in the winter ;

5 - Gully correction must be first achieved by stabilizing and raising the bottom with light weirs, trapped sediments and riverbanks are then sodded rapidly until reduction of erosion sources. With a judicious selection of plants (according to the ecological sites present), one would expect to transform gullies in « linear oasis » and produce forage, wood and fruits.

Soil conservation strategies have been changing a lot. Many traditional strategies adequate to these semi-arid regions, are now abandoned as they may prove uneconomical (better wages in the factories). In order to cope with the serious problems of slope degradation and sediment deposit in the reservoirs, the technical department of agriculture dictated « rural equipment strategies » (DRS - CES) which never were well accepted by the farmers (lower soil productivity, higher labor requirements for maintenance).

Despite tremendous investment (in Maghreb, 1 million ha of terraced fields in 30 years), soil degradation and reservoir siltation did not slow down. The author proposes a new approach (the GCES = Water and soil fertility management), in an attempt to solve farmers problems (higher productivity, security, and labor valorization) by improving water infiltration and soil fertility, intensifying agriculture in the best sites and finally, improving the vegetation cover and reducing the problems of runoff and erosion.

In conclusion, a serie of proposals are recommended to the chief actors, i.e. ;

- the farmers, the only one able to keep up their environment,

- the State, in charge of education, price policies, big operations of gully and wadi corrections, reforestation of slopes, dams and roads.

KEY WORDS: Soil conservation - Mediterranean areas - Strategy - GCES (Water and soil fertility management) - Involved processes - Measurements on runoff plots - Rainfall simulation - Tillage practices - Soil erodibility - Runoff.

RESUMEN

GCES - NUEVA ESTRATEGIA DE LUCHA ANTIEROSIVA EN REGIONES MEDITERRANEAS

En la region mediterranea, la lucha antierosiva tiene una larga historia con exitos mitigados. El medio es fragil : los paisajes son escarpados y torrenteados a causa de la alternancia de rocas suaves y duras, la vegetacion esta fuertemente degradada, las lluvias violentas en verano y saturantes en invierno provocan grandes diferencias y acarrear, de una a dos veces por ano, los sedimentos acumulados en los torrentes.

Los procesos causales son variados. Degradacion despues de sobrepastoreo o desmonte y mineralizacion rapida de la materia organica. Erosion selectiva en manto (0.1 à 10 t/ha/ano) y decapado de los horizontes humiferos por zanjias y sobre todo por erosion mecanica seca despues de multiples practicas culturales (10 a 50 t/ha/ano), torrenteado (100 a 300 t/ha/ano) y deslizamientos de terreno margoso, desestabilizacion de riveras y de vertientes. La erosion especifica aumenta con el volumen de los escurrimientos.

Las medidas cuantitativas a la escala de pequenas parcelas y de cuencas vertientes de Marruecos, Tunez, Argelia y Francia han hecho sobresalir algunas conclusiones subrayando la originalidad de los problemas de la lucha antierosiva mediterranea :

1 - Las lluvias son mucho menos energeticas que en region tropical, a parte de algunas tormentas de frecuencia rara (100 a 400 mm en 1 dia) que dejan heridas profundas sobre el paisaje ;

2 - Los suelos (rendzinas, vertisoles, lithosoles, suelos rojos fersialiticos y los suelos oscuros calcareos) son bastante resistentes a la lluvia porque son arcillosos, saturados en calcio y generalmente cubiertos por piedras ;

3 - La erosion en manto, desdeñable bajo la vegetacion natural (0,01 à 0,5 t/ha/año) misma si ésta es degrada, es moderada bajo cultivo de poca cobertura (0,1 à 10 t/ha/año sobre las pendientes de 12 à 40 %) ;

4 - El escurrimiento en contraparte puede ser muy abundante cuando un suelo esta saturado, poco cubierto en invierno. Es este escurrimiento el culpable del fuerte torrenteado y del transporte de solidos de los « oueds » que envasan rapidamente los reservorios ;

5 - El tratamiento de torrenteros comienza por la estabilizacion y el realzamiento del fondo con la ayuda de umbrales ligeros : debe ser completado rapidamente por la « vegetalizacion » de los sedimentos y de las riveras hasta la extincion de las fuentes de erosion. La eleccion judiciosa de los vegetales en funcion de la diversidad de los nichos ecologicos permite transformar los torrenteros en « oasis lineares » produciendo forrages, maderas preciosas y frutales.

Las estrategias de LAE han cambiado mucho. Las estrategias tradicionales, bien adaptadas y numerosas en esta region semi-arida, son seguido abandonadas por razones economicas (mejor valorisacion del trabajo en la fabrica). Para contrarrestar los graves problemas de degradacion de las tierras y de envasamiento de reservorios, los servicios técnicos centralizados han impuesto estrategias de equipamiento rural (RTM, CES, DRS) mal aceptados por los campesinos (perdida de la productividad de la tierra, exigencia de mantenimiento). A pesar de los potentes medios (1 millon de hectareas acondicionadas en terrazas en 30 anos en el Magreb), la degradacion de los suelos y el envasamiento de represas no han disminuido. El autor propone un nuevo enfoque. La GCES, que contempla primero responder a los problemas de los campesinos :

- aumento de la productividad de las tierras buenas, valoracion del trabajo,
- mejoramiento del manejo del agua y de nutrimentos, e intensificacion de las culturas en las mejores tierras.

- la « revegetalizacion » de tierras fragiles (sistemas silvo pastorales con cubierta permanente).

En fin, una serie de proposiciones son dirigidas a los dos actores principales :

- Las comunidades campesinas, solas capaces de mantener su medio ambiente,
- El Estado, responsable de la formacion, de grandes trabajos de correccion torrencial de presas y de caminos, de la politica de los precios de las producciones agricolas.

PALABRAS CLAVES: Lucha antiérosiva – Zona mediterranea, sintesis – Estrategias – GCES (Gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols) – Procesos diversificados – Medidas sobre parcelas – Simulacion de lluvias – Tecnicas culturales – Erodibilidad de los suelos – Escurrimiento.

INTRODUCTION

L'érosion est un problème vieux comme le monde et nombreuses sont les civilisations qui s'y sont heurté. Aussi, tenterons-nous de voir ici comment les hommes ont essayé de le résoudre au cours de l'histoire en tenant compte de l'évolution des conditions socio-économiques.

Les géomorphologues nous présentent les divers processus d'érosion comme étant à l'origine des paysages naturels, lesquels ont évolué lentement au cours des millénaires, au gré des changements climatiques et des bouleversements géologiques.

Mais les activités humaines qui accompagnent le développement des civilisations (défrichement, agriculture, élevage, concentration des populations dans des villes) vont accélérer la dégradation des couvertures végétales et pédologiques, augmenter le ruissellement, dégrader la fertilité naturelle des sols, le réseau hydrologique et le microclimat: l'érosion, en retour, devient souvent l'une des causes de déclin des civilisations anciennes. C'est pourquoi le bassin méditerranéen, berceau de nombreuses civilisations brillantes a attiré au cours des siècles des populations nombreuses. Celles-ci connaissent depuis longtemps des problèmes de gestion des eaux et de mise en valeur, d'érosion et de restauration de la fertilité des sols.

Un survol rapide de la Grèce, de l'Italie, de certaines régions d'Espagne, et plus encore du Maghreb et du Proche-Orient peut nous montrer à quel point les sols des collines sont souvent squelettiques, décapés par l'érosion en rigole et le *creeping*; les versants et les plaines sont lacérés par les ravines et les rivières torrentielles.

Cependant, il ne suffit pas de clamer l'intensité des dégâts à la une des journaux ou de modéliser mathématiquement certains processus d'érosion bien isolés dans nos laboratoires: il faut proposer des méthodes de lutte antiérosive efficaces et acceptables par tous. Depuis les années 1980, plusieurs chercheurs ont constaté l'échec tant aux USA (LOVEJOY, NAPIER, 1986), en Amérique latine (MOLDENHAUER, HUDSON, 1988) qu'en Afrique (MARCHAL, 1979; HEUSCH, 1986; ROOSE, 1987) des projets de lutte antiérosive basés sur les

méthodes d'équipement rural, mises au point par BENNET dans les années 1930 dans la plaine américaine. Aujourd'hui, un immense champ de recherche et d'expérience s'est ouvert pour mettre au point des stratégies de gestion de l'eau et de la fertilité des sols, qui tiennent mieux compte des besoins des paysans, de la variété des conditions écologiques et socio-économiques ainsi que des interactions entre les processus érosifs les plus actifs localement.

Aussi, nous nous efforcerons ici:

- de décrire la diversité et l'originalité d'un milieu semi-aride où les pluies tombent en période de repos végétatif, milieu d'autant plus fragile qu'il est constitué de pentes raides, de roches tendres et de sols dégradés par le surpâturage;

- de montrer l'importance relative des différents processus d'érosion en cause, leur enchaînement et leurs conséquences à moyen terme dans la zone bioclimatique de 400 à 800 mm de pluie;

- de rapporter quelques résultats d'expérimentations particulièrement significatifs au Maghreb et en France;

- d'analyser les stratégies de lutte antiérosive proposées au fil de l'histoire;

- et enfin de proposer une stratégie participative et des méthodes antiérosives adaptées au milieu écologique et aux conditions humaines qui règnent dans ces pays méditerranéens à forte pression démographique.

Le point de vue présenté ici sur la conservation des sols n'est pas neutre. Il s'agit des réflexions d'un chercheur de l'Orstom, agronome-forestier-pédologue, intéressés par la gestion de l'eau et de la fertilité des sols et par la lutte antiérosive à l'échelle des parcelles, des champs paysans, des versants et des terroirs villageois depuis 28 ans.

Cette réflexion s'appuie sur les recherches des équipes de HEUSCH au Maroc, de l'Orstom en Tunisie et de l'Institut national des recherches forestières (INRF) en Algérie avec lesquelles je coopère depuis 6 ans. Il ne s'agit donc pas d'un point de vue géomorphologique ni écologiste, mais celui d'un gestionnaire de l'eau et des sols, ressources naturelles essentielles à la survie des populations paysannes des zones semi-arides.

UN MILIEU FRAGILE MAIS COMPLEXE

Des paysages pentus et ravinés

Si l'on étudie les images satellitaires ou les photos aériennes de la zone méditerranéenne du Maghreb, on est frappé par les paysages accidentés et profondément ravinés, les vallées défigurées par de larges oueds et les réservoirs encombrés de sédiments. Pourtant, le milieu n'est pas partout aussi fragile et la situation aussi alarmante qu'on a voulu le dire.

Certes les montagnes sont jeunes, les pentes raides, les vallées étroites et les rivières torrentielles, mais tant que ces montagnes sont couvertes de forêts ou de maquis pas trop dégradés, les pertes en terre sur les versants sont peu importantes (HEUSCH, 1970 ; DELHUMEAU, 1981 ; DELHOUME, 1987 ; ARABI et ROOSE, 1989). Une bonne partie des ravines est héritée ou ne fonctionne que lors des averses de fréquence rare (une fois tous les 2 à 10 ans).

Ce sont des circonstances historiques (les colonisations successives), démographiques (doublement des populations en moins de 20 ans) et économiques (importance de l'élevage pour la survie des petits paysans de montagne) qui ont rompu un équilibre naturellement précaire.

Une végétation profondément dégradée

Actuellement, la végétation profondément modifiée par l'homme et par le pâturage, couvre mal le sol durant les pluies d'hiver. Que ces massifs arborés, naturels ou plantés, soient minés par le feu, par l'exploitation excessive des riverains ou par le surpâturage, il en sortira peu de terre érodée mais beaucoup de ruissellement qui, sur les versants pentus et les terrains cultivés, forme des rigoles évoluant rapidement en ravines, si le travail du sol n'efface ces cicatrices (cas du vignoble qui protège les terres malgré un couvert végétal nul en hiver, jamais supérieur à 40 % en été).

À cause du surpâturage, les parcours extensifs se dégradent et même les plantations forestières qui laissent la majorité du sol nu et tassé, jouent très mal leur rôle de protection contre le ruissellement.

Ni les plantations arborées fruitières, ni les céréales extensives, ni les jachères pâturées ne protègent assez les sols en saison des pluies (MASSON, 1971 ; ARABI et ROOSE, 1989). Les sols épuisés et peu couverts se défendent mal contre l'agressivité

du ruissellement. (LAOUINA, 1992 ; MAZOUR, 1992).

Des climats méditerranéens moins agressifs que prévu

Le climat méditerranéen est renommé pour ses averses érosives ! Certains orages d'automne ou d'été sont en effet redoutables car ils provoquent localement des dégâts considérables. Par exemple à Nîmes, près de Montpellier, on se souviendra longtemps de l'averse du 3 octobre 1988 où plus de 420 mm de pluie sont tombés en 6 heures sur les collines qui dominent la ville laissant 11 morts et 4 milliards de FF de dégâts (DAVY, 1989).

Cependant, à l'échelle des grands bassins versants, ce ne sont pas les orages localisés d'été qui apportent le plus de sédiments dans les grands réservoirs, mais les longues averses généralisées de faible intensité tombant en hiver sur les sols saturés de vastes régions peu couvertes : elles provoquent les plus forts débits de pointe dans les oueds. Ces forts débits chassent les sédiments préparés et stockés pendant des mois voire des années dans les ravines et les oueds. (DEMMAK, 1984).

Contrairement à l'opinion publique, l'énergie moyenne des averses ordinaires s'est avérée beaucoup moins importante en zone méditerranéenne montagnaise (Ram/Ham = 1/10 à 1/20) qu'en zone tropicale (Ram/Ham* = 1/2), (ROOSE, 1973-77 ; HEUSCH, 1982 ; ARABI et ROOSE, 1989 ; MAZOUR, 1991).

Les pluies battantes ferment le sol, réduisent sa capacité d'infiltration et provoquent l'abondance du ruissellement, bien plus que les transports solides car les sols sont souvent argileux, riches en calcium et recouverts de cailloux.

Enfin, les longues averses saturantes mais peu énergiques de l'hiver aboutissent au même résultat : beaucoup de ruissellement mais peu de charge solide (1 à 5 g/l) tant qu'il ruisselle en nappe. C'est dans les ravines et les oueds que la charge solide devient importante (5 à 130 g/l).

Il faut donc admettre que ce n'est pas tant l'énergie des pluies que l'énergie du ruissellement dévalant sur les fortes pentes qui provoque les dégâts d'érosion que l'on observe.

* Ham = hauteur annuelle moyenne des pluies sur au moins 10 ans,

Ram = l'indice d'érosivité climatique annuel moyen (WISCHMEIER et SMITH, 1958-78), durant la même période.

C'est là une nuance d'importance majeure : la lutte antiérosive va devoir s'organiser essentiellement autour de la gestion des eaux, de la capacité d'infiltration et de la résistance des sols au ruissellement.

Enfin, comme les sols sont souvent décapés jusqu'à la roche, il faut souligner un autre aspect de l'érodabilité des terrains : les fortes variations de températures diurnes, la fréquence des cycles d'humectation et dessèchement et la fréquence des cycles de gel/dégel à l'échelle journalière entraînent une fissuration profonde des matériaux argileux et de nettes différences de végétation, de sol et d'érosion selon *l'exposition des versants* au soleil, aux vents desséchants et aux averses.

La lithologie : une alternance de couches tendres et dures

D'après HEUSCH (1982) et DEMMAK (1984), il existe une corrélation étroite entre la lithologie, les formes d'érosion et l'intensité des transports solides. « *Aux formations lithologiques les plus résistantes (grès, calcaires durs) correspondent les pentes les plus fortes, les couverts végétaux les plus denses et les transports solides les plus faibles. Par contre, sur les terrains argileux ou marneux peu résistants, les pentes sont relativement faibles, les sols plus riches, les activités humaines sont plus intenses et le couvert végétal est presque inexistant.* » En zone méditerranéenne, l'érodabilité des terrains n'est donc pas forcément plus élevée sur les pentes fortes (ou roches dures), mais elle est liée à la nature lithologique des roches (argiles tendres).

D'une analyse hydrologique et géomorphologique, DEMMAK (1984) conclut que les transports solides spécifiques à l'échelle des grands bassins versants sont étroitement liés à la lithologie (% de surface marneuse et argileuse), à l'énergie du ruissellement (hauteur x , fréquence des pluies dépassant 20 mm) et à la densité du réseau hydrographique. Pour des bassins versants de 100 à 3 000 km² :

$TSS (t/km/an) = 26,62 IL + 5,07 I_p + 9,77 CT - 593,56$ $r = 0,923$
si pluies annuelles moyennes > 300 mm,

I_p = indice d'énergie du ruissellement

CT = coefficient de torrentialité

IL = indice lithologique > 10 % de terrains argileux/marneux.

Les sols sont assez résistants à l'origine

Les régosols, les sols rouges fersiallitiques, les sols bruns calcaires, les rendzines noires et les vertisols gris qui composent la majorité des versants

sont souvent bien structurés, riches en calcaire et/ou en fer libre, caillouteux et résistent bien à l'origine à la battance des pluies, mais pas forcément au ravinement, au sapement et aux glissements de terrain. La présence de sels ou de gypse au sein des marnes fragilise les terrains tandis que le fer, le calcaire et les cailloux les consolident. Mais cette résistance est temporaire et relative (K : de WISCHMEIER, varie de 0,001 à 0,20) ; soumis au surpâturage ou à une exploitation extensive de type minier sans aucun apport organique, ces sols se tassent, développent ± vite des croûtes de battance et laissent échapper un ruissellement abondant, des eaux assez claires sur les champs ($C = 1$ à 3 gr/l) où se font de nombreux piégeages tant qu'il y a des mottes, des cailloux ou des touffes d'herbes mais qui se chargent à mesure qu'elles prennent de la vitesse (en fonction des pentes et du volume ruisselé) en se concentrant dans des rigoles (5 à 20 g/l), les ravines et les oueds (20 à 200 g/l).

Première conclusion : la variabilité des modes d'érosion dans le temps et dans l'espace

Pendant des années, il peut ne rien se passer : le paysage semble stable. Puis, à l'occasion d'une averse (d'une série d'averses) de fréquence rare coïncidant avec un sol engorgé ou finement préparé pour le semis, avec une végétation au ras du sol inexistante, une pente forte (ou même moyenne) et une couverture lithologique tendre, tout se remet en mouvement et imprime au paysage des cicatrices d'autant plus longtemps visibles que le climat est aride. Il est donc bien difficile de différencier une ravine active d'une ravine héritée lors d'un événement de fréquence rare.

Contrairement au modèle de WISCHMEIER (1958-78) adapté aux zones ondulées tempérées et tropicales, ce n'est pas la somme de l'énergie des pluies de plus de 12 mm qui va définir la morphogénèse des paysages méditerranéens semi-arides, mais bien les averses catastrophiques tombant sur un milieu fragilisé qui laissent des traces indélébiles (ROOSE, 1972).

La stratégie de lutte antiérosive nouvelle devra en tenir compte en s'attachant à retarder et à ralentir le ruissellement en dispersant son énergie sur des surfaces stables enherbées plutôt que de concentrer le ruissellement en nappe (peu dangereux) dans des exutoires jamais assez aménagés qui réduisent le temps de concentration du ruissellement et augmentent les débits de pointe des rivières. Voilà une des causes de l'échec de la DRS

qui, malgré un million d'hectares aménagés en banquettes dans le Maghreb, n'a guère modifié le rythme accéléré d'envasement des barrages ni amélioré la faible productivité des versants (6 à 12 quintaux/ha de blé en Algérie) ces cinquante dernières années.

Deuxième conclusion : originalité de l'érosion en montagne méditerranéenne

De l'analyse rapide du milieu méditerranéen, il ressort que les dangers majeurs d'érosion dépendent avant tout des risques de ruissellement (saturation hydrique des sols, imperméabilité des marnes, argilites et schistes, tassement et surpâturage), de la cohésion du matériau (travail du sol, compaction, racines), de la rugosité de la surface du sol (mottes, cailloux, litière, végétation basse) et de la pente.

En zone tropicale comme en zone tempérée, la battance des pluies est indispensable pour préparer les matériaux avant le transport de ses constituants (destruction des mottes). En zone méditerranéenne, ce n'est pas indispensable, car la pente et l'énergie du ruissellement est telle qu'elle sape la masse du sol et entraîne à la fois des graviers et des mottes entières. On observe peu d'érosion sélective mais plutôt des décapages, du ravinement, des glissements de terrain et des sapements de berge.

LA DIVERSITÉ DES PROCESSUS EN CAUSE (tabl. I)

Les géomorphologues ont décrit en détail les divers processus compris lorsqu'on parle d'érosion : nous n'entrerons donc pas dans le détail mais soulignerons la diversité des processus et des facteurs particulièrement en cause en milieu méditerranéen et leurs conséquences sur le paysage.

La dégradation des sols

La forêt et le matorral (1) apportent chaque année 3 à 10 t/ha/an de matières organiques au sol sous forme de litière ou de racines. Comme dans toutes les régions chaudes, la litière est rarement épaisse car la minéralisation par les agents microbiens est rapide. Malgré tout, les pertes en terre sont faibles dans le milieu naturel méditerranéen. Dès qu'on défriche, surtout si on brûle, l'équilibre est rompu et le taux de matières orga-

niques du sol décroît rapidement jusqu'à un nouvel équilibre, fonction du système de production et en particulier, de la gestion des résidus de culture. Sous vigne, cultures extensives et surpâturage, les apports de matières organiques au sol sont très réduits si bien qu'en dessous de certains seuils (0,8 à 1,5 %) de matière organique, la macroporosité s'effondre et n'est plus renouvelée par les activités biologiques ; la capacité de stockage de l'eau et des nutriments ainsi que la capacité d'infiltration des sols décroissent. Il n'y a pas encore d'érosion – puisqu'il n'y a pas de transport – mais une dégradation sur place de la structure des sols qui annonce le développement du ruissellement.

La gestion des matières organiques du sol nous paraît donc être un facteur essentiel de la gestion de la fertilité des sols (conservation ou restauration) en même temps que de la gestion de l'eau (macroporosité, infiltration des sols).

L'érosion en nappe

Le processus de battance des gouttes de pluie qui tassent le sol, cisailent les agrégats et projettent au loin les particules (qui vont former les croûtes de battance/sédimentation et d'érosion et donner naissance au ruissellement en nappe) est bien connu. Une analyse rapide des diverses valeurs prises par les facteurs modifiant l'érosion en nappe dans l'équation USLE de WISCHMEIER et SMITH (1978), montre que les interventions sur le couvert végétal (variation de 1 à 1/1 000) et la pente (0,1 à 20) seront bien plus efficaces que sur le sol ($K = 0,01$ à $0,30$) et que les pratiques antiérosives classiques (1 à 1/10). Evidemment, plus le milieu est aride et plus il faudra faire appel à des techniques mécaniques pour compenser la faible vigueur du couvert végétal. L'érosion en nappe est sélective : elle appauvrit les horizons de surface en éléments fins et y concentre les éléments grossiers de la couverture pédologique : d'où les regs qui peuvent provenir aussi bien de l'érosion éolienne que de l'érosion hydrique en nappe.

L'érosion mécanique sèche

C'est un processus peu connu, voisin du creeping mais sans l'intervention des pluies. Il s'agit d'un lent mouvement en masse des horizons superficiels sous la pression des outils de travail du sol qui aboutit au décapage des sommets des collines (tâches plus claires où apparaît l'altérite), et à l'accumulation au bas des versants des terres humifères sombres (si toutefois ces matériaux ne

(1) Matorral forêt claire dégradée en zone méditerranéenne : terme englobant maquis (sur terrain siliceux) et garrigues (sur terrain calcaire).

TABLEAU I
Diversité des processus, des causes, des facteurs et des conséquences de l'érosion

Processus	Causes	Facteurs	Conséquences
Dégradation des sols	. Minéralisation des matières organiques et autres : . Dysfonctionnements hydriques	. Température . Humidité . Biomasse restituée au sol . Sensibilité des sols : - à la battance - au compactage	↘ Taux matière organique ↘ Stockage eau/nutriment ↘ Porosité, infiltration ↗ Ruissellement
Érosion en nappe	. Battance des pluies . tassement . cisaillement . projection	Rapport d'efficacité Maxi/Mini Couvert végétal = C = 1 à 0,001 1 000 Pente = SL = 0,1 à 20 200 sol = K = 0.01 à 0,30 30 structures A.E. = P = 1 à 0,1 10	. Croûte de battance plus tassement . Ruissellement . Érosion sélective
Érosion mécanique sèche	. Poussée des outils de travail du sol vers le bas de pente + gravité	- Fréquence et intensité du travail du sol - Pente et friabilité du sol	. Décapage de l'horizon humifère en haut pente . Colluvionnement bas de pente
Ravinement	. Energie du ruissellement $E = \frac{M.V^2}{2} = \frac{Mgh}{2}$	- Volume ruisselé = f-surface b.v. - H. et intensité pluie - Vitesse = f (pente, rugosité) - Résistance du sol X végétation - Structure A.E. : seuil, épis dans rivières - Couverture végétale au ras du sol et types d'enracinement	. Entailles profondes . Déséquilibre des versants . Cônes de déjection
E = en Masse (glissement) - coulée boueuse... - glissement en planche...	Gravité > cohésion ... si dépassement du point de liquidité ... si humectation du plan de glissement et pression hydrostatique	- Poids couverture (sol + eau + végétation) - Humectation du plan de glissement - Pente et drainage	. Décapage des versants . Coulées boueuses . Transports non sélectifs

CONCLUSION

1. - Diversité des formes, causes, facteurs et méthodes de lutte.
2. - Variabilité dans le temps et dans l'espace de l'intensité de l'érosion.
3. - Grande importance des états de la surface du sol et de la saturation hydrique.

sont pas repris par le ravinement torrentiel et les sapements des berges des oueds).

L'intensité de ce processus dépend de la pente, mais surtout de la fréquence, de l'intensité et du mode de travail du sol (environ 10 t/ha par le labour descendant et 1 t/ha par sarclage motorisé). On confond souvent ses effets (tâches de sols de couleurs plus claires) avec ceux de l'érosion en nappe : la différence est que l'érosion en nappe est sélective tandis que les mouvements de masse déplacent les matériaux sans les trier. C'est une

des causes des échecs des projets de lutte antiérosive, lorsqu'on organise des structures pour ralentir l'érosion en nappe sans se méfier de l'usage abusif croissant des interventions culturales mécanisées. (WASSMER, 1981 ; REVEL, 1990 ; ROOSE, 1991).

Le ravinement

Si l'on n'intervient pas pour reprendre la terre après une forte averse, le ruissellement en nappe s'organise et provoque une érosion linéaire très

souvent présente dans les paysages méditerranéens sous forme de griffes (quelques centimètres), de rigoles (quelques décimètres), de ravineau (assez profonds pour n'être plus effacés par les techniques culturales ordinaires : $h > 50$ cm), de gros ravins ou de ravines torrentielles (peu de végétation pérenne car abondants transports de blocs rocheux) (LILIN et KOOHAFKAN, 1987).

Les facteurs qui influencent le plus le ravinement ($E = 1/2 MV^2$) sont le *volume ruisselé* (fonction de la surface du bassin, du degré de saturation des sols et de leur capacité d'infiltration, de l'intensité et de la hauteur des pluies, etc.), la *vitesse du ruissellement* (fonction de la pente, de la rugosité des surfaces, des aménagements) et la *résistance du sol* au cisaillement.

C'est le ravinement qui attire le plus souvent l'attention du public sur les dangers d'érosion. BENNET (1939) l'avait bien compris qui a basé l'essentiel de la lutte antiérosive (LAE) des USA sur la réduction de la vitesse du ruissellement (terrasses, exutoires aménagés, seuils). Il a fallu attendre ELLISON (1954) et WISCHMEIER (1958-78) pour développer les méthodes agricoles qui interceptent l'énergie des gouttes de pluie à l'origine des croûtes de battance et du volume ruisselé.

Il arrive en milieu méditerranéen que le ruissellement naisse de l'engorgement du sol à certains niveaux de la toposéquence, ex. : ligne de source au contact grès/marne à Médea, Algérie ou au bas de pente sur vertisols d'une colline marneuse du Rif marocain (HEUSCH, 1970). Dans ces cas particuliers, la couverture végétale est moins efficace que d'habitude pour réduire les problèmes d'érosion et il faudra développer des méthodes de gestion des eaux bien adaptées à ces reliefs accentués et ces sols tendres.

Il y a plusieurs types de ravins qui fonctionnent différemment :

- les ravins en V aigus où le débit de pointe des crues importantes dégage tous les ans les matériaux meubles produits par l'altération et l'érosion des versants ;

- les ravins en U à fond plat et versants verticaux qui évoluent par érosion régressive, par l'énergie de tourbillon de chute en tête de ravine ou par pression hydrostatique latérale de la nappe provoquant l'éboulement des versants ;

- les ravines de suffosion qui proviennent de l'éboulement des tunnels creusés par les eaux libres circulant dans les fissures du sol (sels solubles, argiles gonflantes) au sommet des altérites. On y trouve souvent les traces de différents processus :

creeping, battance des pluies, suffosion, glissements en planche, sapement des berges, laves torrentielles, débris flow, etc.

Il suffit généralement de rehausser le fond des ravines par des seuils pour rejoindre la pente d'équilibre des versants, obtenir l'enherbement généralisé qui éteint l'activité de la ravine (voir en annexe).

Les mouvements en masse

Les formes et les processus des mouvements en masse sont très variés (éboulements, glissement en planche ou rotationnel, creeping, solifluxion, coulées de laves torrentielles) mais ils dépendent toujours du rapport entre le poids de la couverture végétale et pédologique et la cohésion du matériau en fonction de son humidité (humectation du plan de glissement, dépassent du point de liquidité, dépassement d'un seuil pondéral, etc.). Les mouvements de masse provoquent le décapage des versants (pas toujours des sommets), des coulées boueuses et des transports de masses considérables sans triage des matériaux.

Les méthodes de lutte contre les mouvements de masse sont coûteuses et ne peuvent s'appliquer qu'en des points stratégiques : elles consistent à alléger et dessécher la couverture pédologique en évacuant latéralement le ruissellement, en drainant en profondeur le plan de glissement et en favorisant l'évapotranspiration par la plantation de taillis d'eucalyptus ou d'autres espèces à fort pouvoir évaporant (stabilisation des pistes en Algérie, Rwanda et Burundi). En zone plus aride, des graminées comme le « diss » à fort enracinement et photosynthèse en période froide, peuvent jouer un grand rôle pour stabiliser les versants (communication PONTANIER).

Conclusion : nécessité d'un diagnostic sur le dynamisme des divers processus d'érosion

Sous le terme *Érosion* se cache une grande diversité de formes, de processus et de facteurs modérateurs avec lesquels on peut jouer pour réduire les transports solides. Mais, il faudra étudier localement l'intensité des risques pour chacun de ces processus et prendre garde, en tentant de réduire l'un de ces processus, d'en favoriser un autre plus grave encore comme ce fut le cas des banquettes améliorant l'infiltration sur les terrains marneux pour réduire l'érosion en ravine, mais augmentant ainsi les risques de glissements de terrain, de ravinement des exutoires et de sapement des berges en aval.

ANALYSE DES RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

Une sélection de résultats provenant du Maroc, de Tunisie, d'Algérie et de France est présentée en quatre tableaux qui illustrent bien la variété et l'originalité des problèmes d'érosion en milieux méditerranéens.

Maroc (tabl. II)

Nous nous reporterons à l'étude des débits liquides et solides du bassin du Sebou par HEUSCH (1970) sur trois échelles spatiales :

- 20 parcelles de 125 m² sur sols vertiques sur marnes ± calcaires et pentes de 12 à 65 % ;
- 7 petits bassins de 1 à 25 km² à la station du MDA près d'Ouezzane (Rif oriental) ;
- 13 grands bassins de plus de 500 km² sur l'oued Sebou. ;

Les résultats sélectionnés au tableau II permettent de fixer les ordres de grandeur des phénomènes d'érosion en nappe et en rigoles (parcelles), en ravines (petits bassins), glissements de terrain et sapements des berges (grands bassins). HEUSCH (1970) en a tiré les conclusions suivantes :

1. Sur les parcelles, le long d'un versant, le ruissellement et les pertes en terre sont les plus forts sur pente faible (12 %) correspondant au bas de versant engorgé où ressurgissent les eaux de ruissellement hypodermique (très actif sur ces vertisols fissurés). *Sur ces sols vertiques, la position topographique peut être plus importante que le gradient de pente.*

2. *L'érosion spécifique (T/Km²/an) a tendance à augmenter avec la surface des bassins versants : il y a donc peu de colluvionnement dans les hautes vallées, contrairement à ce qu'on observe en Afrique tropicale.*

3. Dans un bassin, une grosse partie de l'érosion peut provenir de très petites surfaces (ex. Badland de Zelzala, tabl. II.2, et les berges, tabl. II.3).

4. L'érosion ne débute que lorsque le sol est gorgé d'eau (suite à des pluies de 200 à 300 mm au MDA) et sa surface fermée. Elle n'est pas proportionnelle à la hauteur des pluies, ni à leur énergie cinétique, mais elle est fonction de la somme des énergies érosives dont l'énergie des eaux ruisselantes est la principale composante en milieu montagnard du Pré-Rif.

Energie développée par les différents processus (d'après HEUSCH, 1970)

Energie cinétique des pluies (780 mm)	10 000 joules/m ² /an
Energie des façons culturales (labour)	9 000
Energie du ruissellement hypodermique sur les versants	3 700
Energie du ruissellement sur les versants	30
Energie des écoulements aux stations de jaugeage	1 000 à 2 000 000 joules/m ² /an

Energie = Volume ruisselé x 9,81 x hauteur moyenne du bassin versant

On voit que l'énergie érosive des pluies est nettement inférieure à l'énergie disponible dans les rivières pour éroder les berges, provoquer des glissements de terrain et de nombreux ravinements.

5. Les sédiments qui envasent les barrages ne proviennent que pour une faible part des versants : l'analyse géomorphologique des formes d'érosion permet de prévoir les risques d'érosion des terrains :

- érosion en nappe \approx 1 t/ha/an ;
- érosion en rigole \approx 10 t/ha/an ;
- érosion en ravine \approx 100 t/ha/an ;
- glissement de terrain \approx 1 000 t/ha/an ;
- sapement de berges \approx 10 000 t/ha/an ;

MÉTHODES ANTIÉROSIVES RECOMMANDÉES

Si l'on supprime l'érosion par ruissellement sur les versants sans modifier la vitesse de l'écoulement dans les ravines et les rivières, l'érosion globale ne

sera guère atténuée : après 50 ans de DRS sur les versants, les barrages s'ensavent toujours aussi vite !

Sur les versants instables (argilites, marnes ou schistes) tout travail mécanique visant à augmenter l'infiltration augmente en même temps les risques de glissement de terrain. Toute végétation - même les grands arbres - migre avec le sol. Il faut donc *d'abord stabiliser la base des versants* et favoriser le drainage des loupes de glissement : épis en gabions et seuils empierrés dans les oueds et les ravines. Le travail débute en aval et s'étend progressivement à l'aménagement complet du bassin versant, réservant les plus fortes pentes aux cultures permanentes (cultures fourragères, pâturages améliorés, forêts communales) et *favorisant une culture intensive dans les sites les plus favorables* (irrigation d'appoint, engrais, graines sélectionnées,

TABLEAU II
Résultats au Maroc
Experimental data in Morocco

Station du MDA, PK21, route Rabat-Ouezzane : Pré-Rif occidental
Pluie annuelle : 600 à 1200 mm (Md = 780) RUSA = 86
Intensités faibles (0,5 à 5 mm/heure) avec I max 30° = 30 mm/30 minutes (fréquence 1 fois en 10 ans).
Débits liquides/solides à 3 niveaux :
20 parcelles de 125 m² sur sol vertique/marnes calcaires
7 petits bassins de 1 à 150 km²
13 grands bassins de > 500 km² sur Oued Sebou.

TABLEAU II.1.
Érosion et ruissellement sur parcelles d'érosion (1967-68) au bassin de Sébou
Erosion (T/Km²) and runoff (mm) on runoff plots (1967-68) in the Sebou watershed

		Erosion (t/km ² ou 100 x t/ha) Pentes %				Ruissellement (mm) Pentes %			
		12	25	35	65	12	25	35	65
Sol nu	marnes	316,9	0,3	1,5	-	12,99	2,19	0,11	-
Céréales	marnes calcaires	-	0,9 à 10,5	-	7,2	-	0,45 à 1,04	-	0,63
Matorral	Calcaire marneux	-	-	-	2,9	-	-	-	0,29

TABLEAU II.2.
Érosion sur petits (1967-68) et grands bassins versants (30 ans) au Sebou
Specific degradation (T/Km²) on little and large watersheds into Sebou wadi

Oued	Station	Superficie en km ²	Dégradation spécifique t/km ²	Ruissellement (mm)
Jorf Taaleb		0,188	12,6	49,4
Rhadra		0,883	74,0	101,2
Cheikh		1,563	116,0	103,9
Mda		24,300	247,0	93,3
Zelzala	(badland)	0,060	167 000,0	102,5
Sebou / 30 ans	Pont du Mdez	3 474	320	72,6
Sebou	Pont du Sebou	12 985	750	152,2
Sebou	Azib es Soltane	16 276	650	135,6
Ouerrha	Bab Ouender	1 756	3 590	325,6
Ouerrha	Ourtzarh	4 398	3 340	459,3
Sra	Pont du Sker	486	3 500	683,3
Aoudour	Tafrannt	1 039	3 850	490,2
Beht	El Kannsera	4 536	450	79,2

TABLEAU II.3.
Provenance du débit solide sur le bassin du MDA (Maroc) (HEUSCH, 1970)
Origin of the solid flow on the MDA watershed (after HEUSCH, 1970)

Type d'érosion	1966-67 année sèche	1967-68 année moyenne	1968-69 année humide
Ruissellement sur les versants	0,01%	3%	19%
Ravines (gullies et badland)	67%	52%	19%
Sapement des berges	33%	45%	62%
E. spécifique t/km ²	9,6	256	4 658

amendement organique, etc.), éventuellement transformation graduelle en gradins par implantation de talus enherbés (palmiers nains, arbustes fourragers ou fruitiers et graminées + légumineuses). Comme il n'est pas facile (pour des raisons démographiques et politiques) de soustraire aux paysans les terres épuisées, on peut commencer par la stabilisation des ravines dont les paysans tirent peu de ressources. Une fois les fonds des ravines bloqués par des seuils en pierres ou en grillage, il faut fixer les sédiments et les berges par l'enherbement, les arbustes fourragers mais aussi quelques arbres de valeur (noyers, fruitiers, peupliers, frênes) qui permettront d'intéresser les paysans riverains à l'entretien des aménagements (très coûteux).

Cependant, il ne faut pas perdre de vue que seule l'intensification des cultures dans les sites favorables permet de soustraire à l'épuisement total les terres marginales dont le défrichement est souvent à l'origine de phénomènes d'érosion catastrophiques (HEUSCH, 1970 ; ROOSE, 1972).

Tunisie (tabl. III.1 à III.4.)

Nous avons sélectionné les résultats des études de l'Orstom (BOURGES *et al.*, 1979 ; PONTANIER, 1988 ; DELHUMEAU, 1981 ; DELHOUME, 1987) et de la SCET (MASSON 1971 ; DUMAS, 1965) sur parcelles sous pluies naturelles ou simulées.

Nous soulignerons les résultats suivants :

1. les pertes en terre en milieu naturel (forêt, maquis) sont très faibles même sur fortes pentes tant que le couvert végétal dépasse 40 %, car le sol est souvent jonché de cailloux. Par contre, dès que le matorral est surpâturé et que le couvert est faible, les ruissellements superficiels ou hypodermiques peuvent dépasser 50 % créant ainsi en aval des risques de ravinements et des débits de pointe de crue très dangereux pour les plaines fertiles ;

2. dans les zones semi-arides (P = 350 à 600 mm) où les sols limoneux sont encroûtés en permanence (en-

croûtement rapide après pulvérisation), le ruissellement peut atteindre 15 % et jusqu'à 60-90 % lors des averses exceptionnelles. Ce sont ces averses exceptionnelles qui provoquent les grands débits solides/liquides et laissent une empreinte ravinée aux paysages : le niveau d'érosion en zone méditerranéenne dépend plus des averses exceptionnelles que de la somme d'énergie des pluies significatives (cas des climats tropicaux) (tabl. III.3) ;

3. l'effet de la longueur de pente (20 à 40 mètres) sur l'érosion n'est pas toujours significatif (tabl. III.4.) car le ruissellement en nappe est freiné par de nombreux obstacles (mottes, nappe de sable, cailloux, herbes, racines, trous, etc.). Les aménagements en banquettes, très coûteux, ne sont donc pas forcément efficaces ;

4. l'effet du couvert végétal au raz du sol par contre est essentiel en zone semi-aride : il intercepte à la fois l'énergie des pluies et du ruissellement, améliore la cohésion du sol, ralentit le temps de concentration, réduit les débits de pointe et étale les écoulements dans les vallées. Au niveau des versants, on confirme l'efficacité antiérosive de la forêt (C = 0,01), des reboisements et parcours (C = 0,1) et la fragilité des sols nus travaillés sous vergers (C = 0,9). (C = rapport entre érosion du sol couvert/E = sur sol nu) ;

5. le travail du sol améliore temporairement l'infiltration mais ensuite, plus on pulvérise la terre, plus on réduit sa cohésion et favorise la formation des croûtes. Le labour du sol réduit la concurrence des adventices, améliore parfois les rendements mais augmente aussi la fragilité du milieu, surtout sur forte pente ou dans les zones d'écoulement du ruissellement (fonds de vallée) ;

6. la plupart des sols sur matériaux calcaires sont caillouteux et assez résistants à l'érosion en nappe (K = 0,05 à 0,25). Par contre, les sols sur marnes salées sont très fragiles (K = 0,60).

RECOMMANDATIONS (DELHOUME, 1987)

1. Mettre en défens les zones montagneuses ou gérer les pâturages et bloquer l'eau avant les piedmonts pour irriguer des cultures intensives dans les zones stables (P < 400 mm).

TABLEAU III
Résultats en Tunisie
Experimental data in Tunisia

TABLEAU III.1.
Érosion, ruissellement et drainage oblique à Sidi Ben Nacem (1973-78).
Erosion, runoff and oblique drainage on 100 m² plots of Northern Tunisia. (After DELHUMEAU, 1981).

Traitements	Pente %	K Ram %	Drain oblique %		Erosion Kg/ha/an	
			Moy	Max	Mini	Max
1) maquis en bon état	25	0,5 à 0,9%	1,9	2,9	16	à 17
2) idem mais exploité	25	0,6 à 0,9%	2,9	6,4	4	à 25
3) maquis dégradé : couvert végétal 60%	16	1,1 à 1,9%	3,3	4,9	16	à 26
4) Eucalyptus plantés en 1962 sur banquettes	27	0,2 à 0,8%	0,7	0,9	3	à 14

Sol brun lessivé hydromorphe, parcelles 20 x 5 m isolées en profondeur jusqu'à 80 cm.
Pluie = 709 à 1011 mm Ram/Ham = 1/16 Rusa moyen = 53
- Écoulement total = 0,5 à 7 % sur parcelles mais 8 à 30 % sur bassins.
- La végétation influence les ruissellements superficiels et hypodermiques.

TABLEAU III.2.
Couvert végétal (%), érosion et ruissellement (%) en Tunisie Centrale
Green cover, erosion and runoff in Central Tunisia. (After Delhoume, 1987)

A - Montagne
Pluies 1975-79 : 318 à 398 mm - Pluie max : 75-79 mm/jour
Sol brun calcaire, pente 9 %, parcelles 22 x 6 m

Traitement	Couvert végétal		K Ram %	KR max	E Kg/ha
	1975	1979			
1) Matorral protégé Romarin + Cystes	32	↑ 42%	8,9 ↓ 1,7%(6)	0,3 à 55%	20 à 1038 (Md = 310)
2) Forêt protégée Idem + Pin d'Alep	69	70%	0,4 0,8%(0,5)	0 à 3%	0 à 32 (Md=7)

- Au-dessous de 40 % de couvert végétal, le ruissellement augmente rapidement.
- Etat de surface du sol de la garigue : 57 % cailloux, 16 % litières, 27 % sol nu encroûté.
Note
KRAM % = Coefficient de ruissellement annuel moyen exprimé en % de la pluie.
KRMAX % = Coefficient de ruissellement maximal observé au cours d'une forte averse.
Md = Médiane des valeurs observées.
() = Médiane.
Pam = Pluie annuelle moyenne.

B - Piedmont

Pluies annuelles moyennes = 70 % de la pluie du Djebel, différence d'altitude = 325 m

	Pente	Longueur	KRAM %	KR Max %	E Kg/ha/an
Amont	22 %	30 m	0,2-15 %	3-49	0-2800 (940)
Aval	21,5 %	150 m	0,9 %	0-30	0-1120 (187)

Sur 370 pluies seulement 5 furent agressives.

- Erosion faible mais fort ruissellement possible sur matorral provoquant du ravinement et des inondations dans la plaine.

- Proposition :

- mise en défens temporaire et localisée des montagnes puis gestion des pâturages ;
- aménagement des oueds en aval = stockage des eaux dans les piedmonts (petits barrages collinaires) ;
- collecte des eaux de ruissellement des pentes fortes des piedmonts pour irriguer les zones peu pentues à l'aval.

TABLEAU III.3
Erosion et ruissellement dans la citerne Telman, Sud Tunisie
Erosion and runoff in the cistern Telman, Southern Tunisia. After Bourges et al., 1979

	RUSA	KRAM %	KR Max %	E t/ha/an par méthode des aiguilles
Moyenne 1972-77	12 à 22	2 à 17 % (13)	7 à 64	0,7 à 47 (8,9)
Le 12.12.73	310	87 %	>90 %	35

Collecte des eaux de ruissellement des collines et culture du glacié.

Sol peu évolué hydromorphe d'apport limono-sableux, gypse en profondeur.

Pluies annuelles moyennes : 182 mm, mais le 12.12.1973, averse de 256 mm en 18 heures période de retour > 500 ans.

KR = 23 mm soit 28 % - Erosion = 0,5 à 1 mm/an - Pluie imbibition = 1,5 à 8 mm.

Aménagement : la céréaliculture dans cette région exige 250 mm de pluie : il faudrait donc immobiliser 4 ha de bonne terre pour produire sur 1 ha = peu acceptable.

Propose soit imperméabiliser, compacter l'impluvium soit épandre les crues des oueds par des digues de terre fusibles.

TABLEAU III.4
Facteurs couvert végétal, longueur de pente, façons culturales et érodibilité des sols sur petites parcelles sous pluies simulées
Cover, length of slope, cultural practices, soil erodibility factors estimated under simulated rainfalls, after MASSON 1971

Effet longueur de pente non significatif

Djouggar sur marnes grises, sol brun calcaire érodé

- 14 pluies simulées de juin à septembre 1963 sur 2 blocs x 3 parcelles de 5 m de large et longueur - 20-30

- 40 mètres, pente 10 %

Aucune différence significative ! Donc jusqu'à 40 m de largeur, l'aménagement en banquettes ne se justifie pas.

Effet couvert végétal : variation de 1 à 100 du facteur C

Sol nu travaillé	1,00
Vignes et vergers travaillés nus	0,90
Pâturage permanent en bon état	0,01
Parcours ordinaire	0,15
Reboisement	0,15
Forêt claire	0,05
Forêt ou pâturage très dense	0,01

Façons culturales sur sol brun calcaire/marnes pente 6 %

	C'
Labour sur chaumes	0,84
Déchaumage	0,50
Sweep	0,20
Mulch treader ou cultivateur canadien ou bec canard	0,12
Témoin = chaume en place non travaillé	0,10

Après travail du sol, le ruissellement et l'érosion commencent plus tard, mais ensuite le rythme est semblable. Le travail du sol réduit les adventices et augmente les rendements ($\approx 30\%$) mais aussi la fragilité du milieu.

Facteur érodibilité des sols : variation de 1 à 12

- K = 0,05 = rendzines sur croûtes
sols bruns calcaires sur marnes
- K = 0,10 = rendzines et sols bruns calcaires sur limons
colluvions steppisés et lunettes à fente de retrait
- K = 0,20 = brun calcaire peu profond
colluvions rouges encroûtés
- K = 0,25 = bourrelet de sable éolien
- K = 0,60 = colluvions hydromorphes
sols bruns calcaires sur marnes salées

2. Récupérer le ruissellement des fortes pentes des piedmonts pour l'irrigation complémentaire de sites favorables.

3. Filtrer les eaux de ruissellement en nappe sur les glacis pour retenir les matières organiques (bandes enherbées évoluant en talus \pm empierrés).

4. Épandre les eaux des crues des oueds ($P < 200$ mm) au moyen de digues de terre compactée.

5. Labour en grosses mottes du sol tout en laissant un minimum de pailles en surface.

Algérie

Nous avons rapporté les premiers résultats des mesures en parcelles d'érosion (22 x 4 à 10 mètres) à la station INRF de Ouzera concernant les quatre systèmes de production les plus répandus dans la région du Tell Blidéen à 90 km au sud d'Alger en milieu méditerranéen humide ($P_{am} = 650$ mm) de moyenne montagne (alt. 900 m) sur quatre types de sols très fréquents (ARABI et ROOSE, 1989).

1. Les précipitations ont été largement déficitaires (-100 à 250 mm), peu agressives ($RUSA < 50$) et n'ont saturé le sol qu'à partir de décembre jusqu'en mars. Les orages d'automne n'ont donné que peu de ruissellement et d'érosion.

2. Le ruissellement annuel moyen a été très faible en année sèche ($KRAM = 0,1$ à 7 %) et moyen en année normale sur vertisol nu (15 à 30 %).

Cependant, le ruissellement journalier maximal peut dépasser 19 à 32 % sur les parcelles peu couvertes pendant les orages d'automne et jusqu'à 70-85 % des averses importantes (50-80 mm) tombant doucement en hiver sur les sols détrempés. La limite de déclenchement du ruissellement varie de 20 mm sur sol sec à 3 mm sur sol humide et/ou battant. Notons que les plus forts ruissellements – ceux qui vont attiser le ravinement et les sapements de berge des oueds – ne croissent pas forcément avec la pente, comme cela a déjà été signalé par

HEUSCH (1970) au Maroc et ROOSE (1973) en Côte-d'Ivoire.

3. Divers auteurs ont beaucoup insisté sur l'influence favorable du travail du sol sur l'infiltration. On remarque en effet que la parcelle de vigne non travaillée, traitée à l'herbicide, est tassée et ruisselle nettement plus que ses voisines. Cet effet est moins net sur les vertisols profondément fissurés en période sèche. D'après les premiers résultats, il faudrait 30 à 100 mm de pluie pour que se déclenche le premier ruissellement sur vertisol après la saison sèche, 30 à 60 mm sur sol fersialitique érodé et seulement 30 à 40 mm sur sols bruns calcaires. Avant que ces derniers sols soient gorgés d'eau, se forme en surface une pellicule de battance de 1 à 4 mm d'épaisseur qui réduit considérablement la capacité d'infiltration de ces sols (3 à 10 mm/heure). Si le travail du sol laisse en surface des grosses mottes, il retarde le déclenchement du ruissellement, mais s'il est trop poussé (disques passés trop rapidement), il laisse une surface lisse et pulvérulante qui accélère la formation d'une croûte de battance et augmente le ruissellement. Sur les sols riches en argile gonflante, cette croûte se fissure après 3-5 jours, mais se referme après quelques millimètres de pluie.

4. Sur les parcelles « améliorées », l'érosion (E), le ruissellement annuel (KRAM) et surtout le ruissellement maximum (KRMAX) sont légèrement plus faibles que sur les parcelles traditionnelles : cela s'explique par une nette augmentation de la biomasse (% sol couvert) et une réduction des surfaces encroûtées. Mais le point le plus important pour les paysans est l'amélioration très significative des rendements (même en année très sèche comme en 1989) et des revenus nets (une fois soustraits tous les frais de production).

5. Sous végétation naturelle (matorral couvert à 80-94 %), l'érosion est faible ainsi que le ruissellement mais on observe une fréquence nettement

TABLEAU IV
Erosion (t/ha), ruissellement (%), rendements et revenus nets sur 13 parcelles de la station INRF de Médea ;
Algérie (Arabi, Roose, 1989)

*Erosion, runoff, yields and net income (dinars) on 13 runoff plots of INRF research station of Medea,
Algérie (after ARABI and ROOSE, 1989)*

Station INRF d'Ouzera près de Medea - 13 parcelles 22 x 4 à 10 m de large - pente 12 à 45 % - Pluie annuelle moyenne : 650 m ;
P observée 520-579-530 et 405 m

	KRAM %	KR MAX %	EROSION t/ha	RDT t/ha	REVENU NET DA/ha.an (x0,7=FF)
SYST. AGROPASTORAL (VERTISOL, PENTE 12%)					
Témoïn international 1984-87	23-15-27	<u>>75-70-85</u>	0,6-0,5-1	-	-
Sol nu travaillé 88-89	4,5	31	1,5	-	-
Témoïn traditionnel blé-jachère pâturée	1,6	11	0,3	0,8	3 680/2 ans
Idem amélioré : blé puis légumineuse (fève)	2,2	8	0,2	54,7 +2,5 paille +5 fève	29 900
Pâturage amélioré légumineuse (Medicago)	1,3	9	0,3	3,4 fourrage	33 000
SYST. SYLVO-PASTORAL 1988-89 (SOL BRUN, PENTE 35 A 40%)					
Témoïn traditionnel matorral très dégradé	6,7	<u>21</u>	1,43	-	< 300
Matorral évoluant en forêt de Pins + Chênes verts	0,4	3	0,04	-	< 500
Matorral évoluant en pâturage DISS	1,0	8	0,04	-	< 500
SYST. ARBORICULTURE FRUI- TIERE 88-89 (SOL ROUGE FERSIALLITIQUE, P = 35%)					
Témoïn sol nu travaillé	5,1	27	2,0	-	-
Témoïn régional : abricotier	1,9	12	0,4	1,5	13 000
Abricotier amélioré + culture intercalaire fève - blé + engrais + bandes enherbées	1,2	9	0,3	1,5 abricot 6,8 fèves 2,5 fourrage	13 000 +34 160
SYST. VIGNE (SUR SOL BRUN COLLUVIAL CAILLOUTEUX PENTE 25 A 30%) 88-89					
Témoïn régional vigne + 2 labours	0,2	3	0,02	3,0	17 000
Vigne non travaillée + herbicides	0,9	<u>19</u>	0,02	3,5	28 000
Vigne travaillée + culture intercalaire (fèves,...blé)	0,1	2	0,004	3,3 + 4,2 fèves + 1,5 fourrage	26 400 + 12 000

plus élevée de crues que sur les parcelles cultivées. On peut l'interpréter par la présence de zones de forte infiltration sous les touffes végétales et de zones tassées par le cheminement du bétail et des eaux qui tournent autour des touffes de graminées. DELHUMEAU (1981 en Tunisie) avait aussi fait appel aux chemins empruntés par le bétail pour interpréter les différences d'écoulement mesurées sur les versants (0,5 à 6 %) et à l'exutoire des petits bassins versants (8 à 30 %). C'est un exemple de la théorie sur la naissance du ruissellement où une partie seulement de la surface contribue au ruissellement. (COSANDEY, 1986).

6. L'érosion en nappe est particulièrement faible au cours de ces quatre années déficitaires : 4 à 400 kg/ha sous culture, 40 kg/ha sous matorral évoluant en forêt ou en pâturage, 1 300 à 2 000 Kg/ha sur sol nu travaillé dans le sens de la pente – que la pente ait 12 ou 40 % ! Au rythme de 2 t/ha/an il faudrait 900 ans pour envaser le barrage de Ghrib sur un bassin de 230 000 ha ; les mesures des sédiments montrent que la vitesse d'envasement est au moins 20 fois plus rapide. Ceci confirme les résultats de HEUSCH (1970) et DEMMAK (1984) qui soulignent l'importance négligeable de l'érosion en nappe sur les transports solides et insistent sur la nécessité de stabiliser les oueds et les ravines pour ralentir l'envasement des barrages / – alors que depuis 50 ans, on plante des arbres et des terrasses sur les versants !

7. L'intérêt principal de ces essais est d'avoir démontré sur petites parcelles qu'on obtenait les mêmes faibles rendements que sur les champs traditionnels voisins (8 q/ha de blé, 30 q/ha de raisin, 15 q/ha d'abricots) et qu'on pouvait multiplier par 2 à 7 les rendements de céréales sur les parcelles améliorées par l'usage d'engrais, de semences sélectionnées, de soins phytosanitaires et d'une meilleure gestion de l'eau et des résidus de culture (54 q/ha de blé, 42 et 68 q/ha de fève) en cultures associées à la vigne (33 à 35 q/ha).

Il est facile de comprendre l'évolution actuelle de l'occupation des sols en comparant les revenus des différentes spéculations agricoles (dinars par hectare et par an) :

- 500 dinars/ha environ pour le pâturage extensif sous forêt ;
- 3 700 dinars/2 ans pour le blé traditionnel suivi d'une jachère pâturée (200 dinars) ;
- 13 à 17 000 dinars/ha pour la vigne et les abricotiers extensifs ;
- 28 à 33 000 dinars pour la vigne intensive, la culture fourragère et le blé tendre intensifs ;

– 43 à 47 000 dinars pour les fèves sous vigne et sous abricotiers.

Les cultures intercalaires étaient pratiquées jadis sous les vergers mais un certain nombre de préjugés avaient fait disparaître cette pratique pour éviter la concurrence hydrique !

Voilà un système qui combine à la fois l'intensification de la production de biomasse (grain et fourrages), l'amélioration des revenus à l'hectare en montagne et qui stabilise l'environnement ! La vulgarisation n'aura guère besoin de subvention pour convaincre les paysans pourvu que le marché existe pour monétariser la production excédentaire.

RECOMMANDATIONS

Si l'érosion en nappe est faible sur les versants (en années sèches) même sur les pentes fortes (12-40 %), le ruissellement présente un danger pour le ravinement et les sapements de berges par les oueds.

En combinant plusieurs techniques culturales (graines sélectionnées, fertilisation adéquate, sols labourés rugueux, cultures associées à l'arboriculture fruitière, semis d'une légumineuse dans la jachère, soins phytosanitaires et bande d'arrêt enherbée), on a réduit le ruissellement et l'érosion (modestement en année sèche) et on a augmenté très significativement la production de grains, de pailles et de fourrages ainsi que les revenus des paysans. Si ces résultats encourageants se confirment au fil des années (en particulier lors des années plus humides), il devrait être possible pour les vulgarisateurs d'intéresser les paysans à ces méthodes de lutte antiérosive en soulignant leur intérêt immédiat (amélioration de leur revenu net).

L'intensification de l'agriculture de montagne devrait donc être possible sans mettre en danger le potentiel de production du sol, ni la capacité de stockage des barrages en développant une stratégie nouvelle de gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols (ROOSE, 1987).

En France (tabl. V)

Les résultats des mesures en montagne moyenne que ce soit sur parcelles près d'Aix en Provence sur calcaire (CLAUZON, VAUDOUR, 1969) ou sur petit bassin versant granitique du mont Lozère près de Montpellier (COSANDEY *et al.*, 1990), montrent que le ruissellement sur les fortes pentes est faible sauf lors des événements exceptionnels et que les transports solides sont faibles sur les versants (sauf déforestation 6 t/ha/an) et localisés sur les ravines et les berges des torrents.

TABLEAU V
Résultats disponibles en France
Experimental data in Southern France

TABLEAU V.1

Erosion et ruissellement sur éboulis dans la région d'Aix-en-Provence
Erosion (kg/ha/year), max. runoff (%) under végétation on a scree near Aix-en-Provence, France, (after CLAUZON et VAUDOUR, 1969)

Pluies am \approx 600 mm, sol brun calcaire peu évolué limono argileux
Garrigue à romarin : parcelles 10 x 20 m, pente 25 %
KR max 4,4 % mais drainage hypodermique.
E = 10 Kg/ha/an sous garrigue, 225 kg/ha/an si terre défrichée et labourée.

Au tableau V.2. sont résumés les résultats de 66 pluies simulées de 40 mm/h pendant une heure sur un versant cultivé mécaniquement sur les terreforts du Lauragais (sol brun calcaire limono-argileux sur flysh marno-gréseux) (ROOSE, CAVALIÉ, 1988).

Les principales conclusions sont les suivantes :

1. suite à un orage de 40 mm en 1 heure (fréquence 1/5 ans) tombant sur un lit de semence fraîchement préparé, le ruissellement peut varier de 7 à 35 % (et même atteindre 70-83 % sur les traces des roues) tandis que les pertes en terre varient de 130 à 2 500 kg/ha/orage ;

2. l'inclinaison de la pente (2 à 29 %) entraîne une légère diminution du ruissellement suite à une augmentation nette de l'infiltration finale stabilisée (FN = 7 à 16 mm/h) et à une faible diminution de la pluie d'imbibition nécessaire au démarrage du ruissellement (Pi = 16 à 12 mm) ;

3. les passages de rouleau (cultipacker) et surtout des pneus qui entraînent la compaction des matériaux et l'éclatement des mottes en surface augmentent très nettement le ruissellement (KR passe de 20 % à 35-70-80 %).

4. la préparation fine du lit de semence à l'automne augmente aussi les risques de ruissellement car il se développe en hiver une pellicule de battance sur sol nu finement motteux ;

5. finalement, le système traditionnel (labour grossier à l'automne + reprise au printemps à la herse à dents plates) n'entraîne que peu de risques d'érosion en nappe (E = 0,1 à 1 t/ha tous les 5 ans) mais des risques sérieux de rigoles et ravines à partir des traces des roues drainant le ruissellement des champs en amont ou à partir des mouillères.

Le seul traitement qui réduise sérieusement les risques de ruissellement consiste à décompacter le sol à l'automne sans le déchaumer ni le retourner et à ne préparer finement à la fraise que les lignes de semis (10 % de la surface pulvérisante et 50 % de surface couverte par les résidus de la culture précédente).

La meilleure préparation du lit de semence au printemps serait encore la herse à dents plates traditionnelles qui remonte en surface les mottes moyennes (5 à 10 cm de diamètre) et enfouit la terre fine vers 4-6 cm là où seront posées les semences : les outils animés modernes affinent trop les mottes et favorisent la formation de croûtes de battance qui étouffent les graines.

L'action du sarclo-binage est très temporaire sauf si le couvert végétal est déjà bien développé.

Conclusions : le choix des techniques antiérosives en zone méditerranéenne

De l'ensemble des résultats analysés des expérimentations à différentes échelles entreprises depuis 20 ans dans le Maghreb et en France se dégagent un certain nombre de conclusions qui doivent orienter le choix des techniques antiérosives à mettre en œuvre.

LES RISQUES D'ÉROSION EN NAPPE (tant en milieu naturel que dans les cultures) sont faibles mais il peut naître sur les versants un fort ruissellement à l'occasion des longues averses d'hiver tombant sur des sols peu couverts, tassés ou pulvérisés et battants, lequel sera à l'origine des énormes transports solides issus des ravines, roubines et sapement des berges des oueds et de l'envasement accéléré des barrages. Il faudra donc développer une politique de valorisation de l'eau sur les versants pour augmenter la production de biomasse et réduire ainsi les risques de ruissellement.

L'EFFET DE LA PENTE n'est pas évident partout : il faudrait éviter de terrasser partout.

- L'effet de la *longueur de pente* est faible sur l'érosion en nappe (fonction des états de surface) mais peut être fort si le ruissellement s'organise en rigoles et ravines.

- Les *fortes pentes* ont souvent une meilleure capacité d'infiltration (ex. marne) : si donc les sols sont stables, caillouteux ou bien couverts par une litière, les pertes en terre restent faibles.

- Par contre, la *forme du versant, la situation topographique d'une parcelle* dans un paysage et son drainage interne peuvent avoir des consé-

TABLEAU V.2
Effets des techniques culturales sur le ruissellement et l'érosion sur un coteau du Lauragais
Cultural practices influences on runoff (%), infiltration (mm/ha) and erosion (g/m²) on a hillside of S.W. of France, (after ROOSE et CAVALIÉ, 1986)

Traitement	Pente en %	Ruissell. KR 40 %	Pi imb. mm.	FN mm/h	C moyen g/l	Erosion g/m ²	Répéti. N
Témoin	2 - 6 %	22	16	7	2	13	6
Labour automne + + reprise au printemps	14 - 20 % 22 - 29 %	20 19	13 12	12 16	9 7	93 57	15 4
Id + binage	22 - 29 %	12	13	(20)	<u>11</u>	58	2
Id + lit semence + profond	14 - 20 %	17	16	8	9	65	4
Id + cultipacker (rouleau)	14 - 20 %	<u>35</u>	<u>8</u>	12	<u>18</u>	<u>250</u>	8
Id + compaction 1 fois	14 - 20 %	<u>28</u>	13	8	12	105	8
Id + compaction 2 fois	14 - 20 %	<u>70</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	4	103	4
Traces de roues	16 %	<u>83</u>	<u>4</u>	<u>1</u>			1
Labour + reprise à l'automne 30 % couvert	22 - 29 %	<u>32</u>	<u>6</u>	13	9	98	4
Décompactage en automne. 40 % couvert	résidus, déchaumage 22 - 29 %	17	4	<u>21</u>	5	<u>35</u>	5
Décompactage fraisage localisé au printemps	+ résidus 22 - 29 %	<u>7</u>	20	<u>23</u>	<u>3,6</u>	<u>26</u>	5

Provoqué par une averse de 40 mm en 1 heure simulée sur les listes de semences de maïs sur terrefort d'un coteau du Lauragais. Résultats extraits de campagne 1985-86-87 à Narbons (France) (d'après ROOSE et CAVALIÉ, 1988)

- KR 40 % = Coefficient de ruissellement pour une pluie de 40 mm.
 = Runoff % of 40 mm simulated rainfall in one hour.
 Pi = Pluie d'imbibition = pluie limite avant le début du ruissellement.
 = Rainfall amount in mm before the runoff begins.
 FN = Capacité d'infiltration stabilisée en en mm/h en fin d'averse simulée.
 = Infiltration capacity at the end of the experimental rain.
 Cm = Charge moyenne en g/l.
 = Average turbidity in g/l.
 E 40 = Transport solide en g/m².
 = Sediment yield in g/m².
 N = Nombre de répétitions.
 = Number of repetitions.
 == = = Nettement différent du traitement de référence.
 = Clearly different of the reference plot.

PLANCHE I. – La lutte antiérosive au Maroc
Soil Conservation in Morocco.



1

1. Le reboisement des sols dégradés et surpâturés n'arrête pas toujours le ruissellement ni le ravinement (forêt de Marmora).



2

2 et 3. Sur les marnes, se sont développés des paysages mollement ondulés facilement stabilisés par le labour grossier et quelques talus enherbés en bordure des parcelles. Mais si le drainage des routes est rejeté sans aménagement particulier sur ces terres fragiles, il provoque un ravinement sévère qui peut remettre en cause l'équilibre du versant (photo 3). Le réseau routier est l'une des causes fréquentes du ravinement des versants : il serait souhaitable de développer des recherches pour stabiliser ces drains de façon économique.



4

4. Aménagement DRS classique avec banquettes d'absorption totale en courbe de niveau, plantation de fruitiers rustiques (ici l'olivier) en bordure de talus enherbés et cultures de céréales sur l'espace interbanquettes (150 km de Rabat).



3

5. Les plantations forestières résistent mal au pâturage extensif et couvrent très mal le sol au bout de 17 ans. Tassé, dénudé, et encroûté le sol ruisselle très rapidement : il suffit d'une pluie de 5 mm pour qu'il soit impossible de circuler sur ces terrains marneux.

6. Ce lac collinaire construit par la GTZ et l'ONTF a été rempli de sédiments en 3 ans. La rentabilité économique de cet aménagement est discutable, mais pourrait se justifier :

a) par le stockage des sédiments en amont du barrage principal,

b) par la réduction des risques d'érosion en aval,

c) par le stockage d'eau redistribuée lentement à l'aval dans un abreuvoir pour le bétail,

d) par la production de bois et de fourrage sur les pourtours et finalement sur les sédiments.

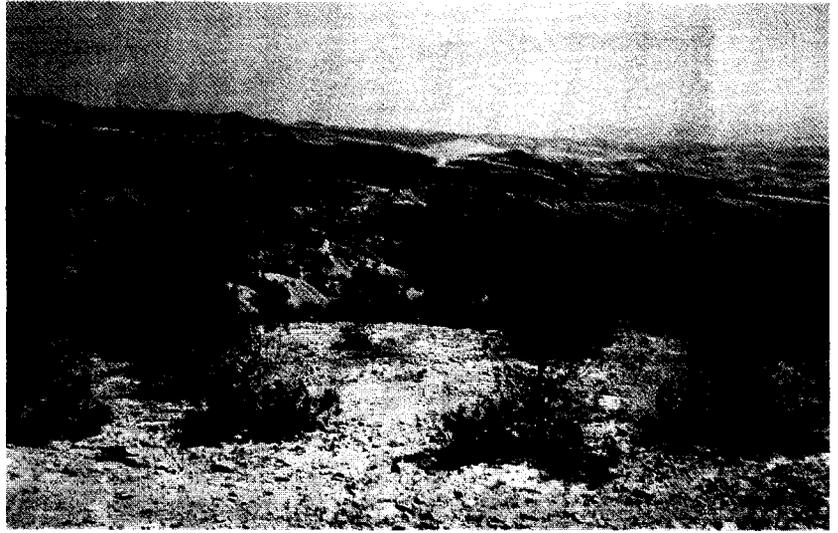
7. Dans le même projet, ont été améliorés un certain nombre de « Magden », sortes de mares creusées dans les marnes, remplies plusieurs fois l'an par le ruissellement provenant d'un court versant nu, de la route et des toits. Les eaux captées par un petit fossé, rentrent dans une enceinte clôturée (barbelés et arbustes épineux), déposent les sédiments grossiers dans un désableur puis alimentent la mare (100 m³). Les eaux sont prélevées par siphonage avec 3 objectifs :

a) alimenter en eau la famille (5 personnes) en filtrant les eaux à travers un fût de 200 litres rempli de lits de sable alternant avec du charbon de bois,

b) alimenter 30 moutons et 2 ânes,

c) irrigation d'appoint d'un hectare d'arbres fruitiers (citrus, figuiers, amandiers, abricotiers, etc.) de fourrages et de légumes.

8. Seuils en sacs plastiques remplis de terre très adaptés dans les marnes. On note que le déversoir central a été endommagé par la circulation des sables et gravier et nécessite un renforcement. Un contre barrage devrait permettre de protéger la base de l'ouvrage.



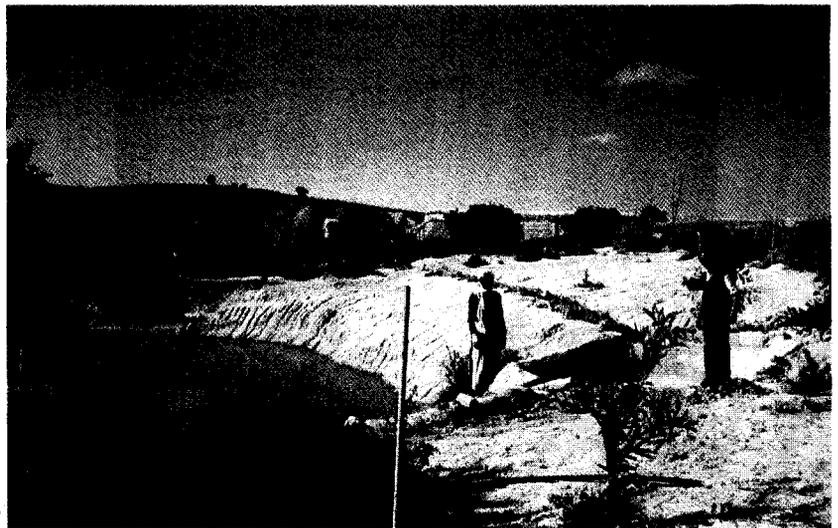
5



6



8



7

PLANCHE III. - La gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols : comparaison des approches DRS et GCES en Algérie ;
Water and soil fertility management : comparison of DRS and GCES approaches in Algeria.



9



10



11



12



13



14

quences majeures. Par exemple, des rigoles et des ravines démarrent sur des pentes de plus de 5 %, peuvent s'effacer si la pente diminue et redémarrer en bas de versant engorgé.

LE TRAVAIL DU SOL, surtout s'il laisse une surface rugueuse, augmente temporairement l'infiltration mais aussi les risques d'érosion s'il survient un fort ruissellement car il réduit la cohésion de la couverture pédologique. En principe, il faudra entretenir la rugosité du sol et effacer les rigoles dès qu'elles se forment mais par ailleurs, il faut réduire le travail du sol (le localiser) et maintenir un couvert végétal le plus complet possible à la surface du sol. Il faudra donc développer des méthodes de travail du sol sous la litière et promouvoir une politique de gestion des résidus de culture.

LA LUTTE ANTIÉROSIVE DÉPEND DES OBJECTIFS PRIORITAIRES

S'il s'agit de fixer des populations à la montagne et d'augmenter leur niveau de vie, nous avons montré à la station INRF de Ouzéra (Algérie), (ARABI et ROOSE) qu'il était possible de multiplier par 2 à 5 leurs revenus en développant à la fois une arboriculture fruitière, une culture associée à un élevage intensif sans dégrader le capital sol. Il s'agit de couvrir les terres fragiles par des pâturages permanents améliorés, de gérer les eaux de surface et de concentrer la production sur des petites surfaces irrigables. Mais, la montagne n'a qu'une capacité d'accueil réduite si les ressources se limitent à l'agriculture (intérêt du tourisme et de l'artisanat).

S'il s'agit de protéger la qualité des eaux indispensables aux industries, aux citadins et aux riches agriculteurs des plaines, de protéger les routes, de réduire les inondations et l'envasement des barrages (objectif aval), les méthodes les plus efficaces consistent à stabiliser les ravines et les oueds. Ces techniques de RTM sont très coûteuses (de l'ordre de 1 million de FF pour aménager 2 km de ravine moyenne) et devront être prises en charge par l'État et les collectivités régionales. De gros efforts de recherche et de vulgarisation sont encore nécessaires pour réduire les coûts des aménagements, augmenter leur efficacité et intéresser les communautés rurales à la gestion de leur environnement.

ÉVOLUTION DES STRATÉGIES DE LUTTE ANTIÉROSIVE

Le développement rural entraîne le plus souvent des risques de dégradation du couvert végétal et des sols

Sous la pression démographique (ou sociale), la première réaction des paysans (et des gouvernements) est *d'étendre les cultures vers des « terres neuves »*. Mais comme ce sont généralement les meilleures terres qui sont d'abord colonisées, l'extension se fait nécessairement sur des terrains plus fragiles, plus pentus ou présentant plus de contraintes. Or, même si les pionniers ont développé chez eux des méthodes antiérosives, il est

9. Banquette d'absorption totale dans une plantation forestière. La pente de la banquette n'étant pas parfaite, l'eau s'accumule, forme des flaques (danger accru de glissement) et déborde. Comme les paysans prélèvent des perches à mesure de leurs besoins, la forêt s'appauvrit. L'espace occupé par la banquette (5 à 20 %) est perdu pour la production.

10. A Bel Mezioude au contraire, le soussolage des sols bruns calcaires a permis de casser la croûte calcaire, d'augmenter la production de biomasse, de mieux couvrir le sol et de réduire l'érosion, en rangeant les pierres sur le cordon en courbe de niveau. Cette méthode d'amélioration foncière permet à la fois de produire plus et de protéger l'environnement.

11. Station INRF de Médea (climat méditerranéen frais de moyenne montagne). Il y a 30 ans la coopération bulgare a proposé l'arboriculture fruitière pour améliorer le niveau de vie des montagnards. Effectivement ses revenus sont passés de 3 000 dinars/ha/2 ans dans la rotation classique « céréales/jachère pâturée » à 30 000 dinars/ha/an sous culture fruitière, une fois les vergers en pleine production (3 à 30 ans). Trente centimètres de terre ont disparu par érosion en nappe et rigoles ($E = 5$ à 15 t/ha/an) et surtout par érosion mécanique sèche (labour croisé deux fois l'an).

12. Pour améliorer encore la situation, l'aménagement a été complété :

- par une bande enherbée entre les arbres,
- par une rotation céréale légumineuse dans les bandes cultivables entre les arbres (avec engrais et soins phytosanitaires), le revenu a grimpé à 45 000 dinars/an ; le système permet d'associer l'élevage à l'agriculture tout en protégeant mieux la terre en hiver, période de pluies.

13 et 14. Aménagement d'une ravine à Souagui.

L'alternance de roches schisteuses et marno-calcaires entraîne la formation de paysages à longues pentes soumises au ruissellement et au ravinement dès lors que le sol est cultivé de façon extensive et que les crêtes sont surpâturées (photo 13).

A Souagui, l'INRF a aménagé une ravine avec 4 types de seuils (en gabion, en pierres sèches, en grillage de fer ou de plastique) tandis que l'INRH suivait l'évolution du ruissellement et des transports solides sur un couple de ravines. Non seulement on observe que l'on peut diviser par 3 le coût des seuils, mais on améliore leur efficacité et valorise les sédiments et l'eau qu'ils piègent en produisant du bois (peupliers de 5 m en 2 ans), des fruits (abricotiers) et des fourrages (frênes + herbages en saison sèche). On espère ainsi restituer la surface occupée par les ravines aux paysans pour qu'ils y trouvent leurs profits et entretiennent les aménagements.

rare que les défricheurs prennent soin de protéger « les terres neuves » contre la dégradation naturelle des sols cultivés.

La sagesse semble donc *d'intensifier l'exploitation* des meilleures terres par divers aménagements conservatoires pour réduire au minimum la « mise en valeur » (il faudrait dire la dégradation) des terres fragiles. Mais là aussi, se trouvent des pièges tels que l'acidification du sol par l'usage abondant d'engrais minéraux acides (en particulier azotés), le compactage par la motorisation et la dégradation de la structure (ou la salinisation) par l'irrigation. Heureusement, même en milieu semi-aride, bien des terres dégradées peuvent être restaurées ! Cependant les méthodes à mettre en œuvre ont un coût souvent difficile à supporter par les paysans.

Les stratégies traditionnelles de lutte antiérosive sont étroitement liées aux conditions socio-économiques

Il y a des siècles que l'homme laisse des traces de sa lutte contre l'érosion. On constate que ses méthodes sont étroitement liées aux conditions écologiques certes, mais aussi aux conditions socio-économiques. Dans le Maghreb, deux types d'agriculture se sont développés : d'une part les grandes exploitations mécanisées issues des terres des colons (problèmes de tassement, drainage, salinisation) et d'autre part, les petites exploitations dispersées souvent en montagne sur des pentes raides et qui ne survivent que par le pâturage extensif sur les terres communales.

LA CULTURE ITINÉRANTE SUR BRÛLIS est un mode de gestion de la fertilité des sols primitif mais efficace et équilibré en milieu humide tant que la population ne dépasse pas 20 à 40 habitants par km² et qu'elle ne cherche que sa subsistance au milieu de terres très abondantes. Cette stratégie fut appliquée sur tous les continents mais dès qu'une société concentre les populations (autour des villes par exemple), la durée de la jachère diminue, les sols s'épuisent et les cultures couvrent mal le sol contre l'érosion. Cette stratégie est encore appliquée aujourd'hui sur des terres marginales dont la dégradation est très rapide.

LES ASSOCIATIONS AGRO-SYLVO-PASTORALES (telles que les bocages) permettent une intensification remarquable des productions végétales et animales lorsqu'il est impératif de réduire le temps de jachère. Ainsi en France, la fertilité des sols a été longtemps maintenue grâce à l'utilisation du fumier et au travail du sol, aux prairies temporaires (restauration

des propriétés physiques), aux haies vives et aux bosquets. Cette stratégie nous paraît du plus haut intérêt pour développer une agriculture de montagne équilibrée, tout au moins dans les zones suffisamment humides ($P > 400-500$ mm).

Jusqu'ici, les paysans survivent en dégradant l'environnement par le surpâturage et la production de céréales. On pourrait imaginer la protection des terres fragiles par des pâturages pérennes (buissons + herbes + légumineuses) bien gérés, tandis que la production agricole serait concentrée sur quelques terres bien fumées, bien aménagées (terrasses progressives) et si possible irriguées (cultures vivrières associées à une arboriculture fruitière à grand écartement adaptée au climat frais montagnard).

TRAVAIL DU SOL, DRAINAGE ET TERRASSES PROGRESSIVES

Les terres « cultivables » sont labourées grossièrement chaque année à l'araire ou à la charrue tirée par un attelage souvent hétéroclite (cheval ou mulet/âne, le plus léger en amont) soit juste après les récoltes (après un orage d'été), soit aux premières pluies de l'automne. Sur les terres argileuses peu perméables, il n'est pas rare de voir le paysan effectuer un dernier passage en oblique pour créer un canal en pente douce pour évacuer dès sa naissance le ruissellement superficiel vers la limite de parcelle, sorte de fossé protégé par une végétation permanente. (GRECO, 1978).

Les limites à l'aval et à l'amont de la parcelle, du fait de ces techniques culturales qui poussent le sol vers l'aval (et de l'érosion), évoluent rapidement en talus ± enherbés, quelques fois consolidés par des palmiers nains, des cactus (*Opuntia*), des agaves ou des arbres fruitiers (amandiers).

Localement, le paysan peut couper sa parcelle en aménageant une *double dérayure*, sorte de sillon encadrant une bande enherbée en permanence qui évolue rapidement en une terrasse progressive en pente douce : son objectif est de drainer les eaux excédentaires vers des exutoires plus ou moins aménagés. Ces talus enherbés peuvent être consolidés par des plantations de fruitiers ou par le rejet des cailloux évacués des zones cultivées (cordons de pierres).

LES TERRASSES OU GRADINS MÉDITERRANÉENS sont aussi connus depuis des siècles sur tous les continents (ex. Dogons au Mali, Incas au Pérou, Espagne, Crête, Grèce, Indonésie) mais ne se développent que pour des raisons impératives (militaires, religieuses, etc.) là où la population est très dense, la terre rare en dehors des montagnes, le coût du

travail peu important et où le climat permet de développer des cultures très rentables. Il faut en effet compter 500 à 1 200 hommes x jour de travail pour aménager un hectare dans des terrains où les pierres de bonne qualité sont disponibles – à moins que le climat soit assez clément pour maintenir un épais chevelu de graminées sur les talus et que le sous-sol ne soit pas sensible aux mouvements de masse. Beaucoup de ces terrasses sur le pourtour méditerranéen sont maintenant délaissées lorsqu'elles ne peuvent s'adapter à la motorisation ou si l'industrie valorise mieux le travail que la plupart des productions agricoles.

AGRICULTURE SOUS IMPLUVIUM EN ZONE SEMI-ARIDE

Là où la pluie est inférieure à 300 mm, la céréaliculture est peu rentable. Aussi, les paysans ont-ils mis au point toute une série d'aménagements pour capter les eaux de pluie, de ruissellement ou de nappe en vue de concentrer sur une faible surface les eaux et les éléments nutritifs disponibles (rôle du bétail et du fumier).

C'est le cas des Magden, sorte de mares (100 à 500 m³) creusées dans l'argile pour recueillir les eaux de ruissellement captées par un fossé le long des routes, des habitations ou des surfaces dénudées (roche ou argile peu perméable) pour alimenter en eau un petit verger, une famille et un petit troupeau (40 moutons). Les eaux boueuses sont purifiées par le passage à travers un désableur et la mare, pour être ensuite siphonnées et filtrées à travers un fut de 200 litres rempli de couches successives de charbon de bois et de sable. En zone plus aride (P < 200 mm), on capte les eaux de ruissellement au pied des collines pour irriguer des cultures céréalières (citerne Telman) ou des oliviers (tabias) ou les deux à la fois dans les vallées, derrière les seuils en pierres (jessour), (El AMAMI, 1977 ; BONVALLOT, 1986 ; HUDSON, 1987 ; PONTANIER, 1988).

Les stratégies d'équipement rural : le pouvoir central impose ses solutions techniques aux ruraux

Les stratégies traditionnelles sont très efficaces mais les conditions socio-économiques ont changé avec la pression démographique, d'où le développement de nouvelles stratégies.

La RTM, Restauration des terrains de montagne est née vers les années 1850 dans les Alpes. Suite à la pression démographique et au surpâturage, la couverture végétale de certaines montagnes s'est dégradée en entraînant des activités torrentielles exacerbées, l'inondation des plaines et la rupture

des voies de communication. Suite à ces désordres, l'État a formé un corps de forestiers spécialisés dans la reforestation des terrains dégradés et la correction torrentielle.

La CES, Conservation de l'eau et des sols s'est développée aux USA vers 1935 pour aider les agriculteurs à maintenir le pouvoir de production de leur terre tout en améliorant la qualité des eaux nécessaires aux citadins (d'où l'aide technique et financière de l'État).

La DRS (1940-80), Défense et restauration des sols a été créée par les forestiers et les ingénieurs des Ponts-et-Chaussées du Maghreb pour restaurer les terres dégradées (reforestation des hautes vallées et correction torrentielle) et pour protéger les routes, les ouvrages d'art et surtout les barrages (eau des citadins) autour de la Méditerranée.

Ces stratégies privilégient le génie mécanique pour maîtriser l'eau et n'entrent en jeu que lorsque la dégradation est déjà grave. Le pouvoir central intervient alors avec autorité « pour le bien public » par l'intermédiaire d'ingénieurs qui imposent une solution technique à chaque problème. Le rôle de la vulgarisation se réduit alors à la démonstration sur le terrain et un monologue en vue de vaincre les « résistances paysannes » qui n'y trouvent pas leur intérêt à court terme (perte de surface et de liberté).

Dès les années 1980, de nombreux chercheurs (LOVEJOY NAPIER, 1986 ; HEUSCH, 1986 ; LILIN, 1986 ; ROOSE, 1987) ont dénoncé les échecs de ces stratégies imposées par le pouvoir central. Aux USA, malgré 50 années d'intense activité de l'imposant Service de Conservation de l'eau et des sols, 25 % des terres cultivées perdent encore plus de 12 t/ha/an de terre généralement tolérées. Quant à l'Afrique du Nord ou de l'Ouest, les exemples d'échec ne manquent pas : les paysans, s'ils ne détruisent pas les dispositifs, ne les entretiennent pas ou abandonnent la terre « éventrée par les pouvoirs publics » (MARCHAL, 1979). Les projets alignent les kilomètres de fossés ou de diguettes... mais ceux-ci se détruisent au fur et à mesure. Ainsi conçue, la LAE consomme des masses impressionnantes de crédits sans parvenir à redresser la situation : les problèmes s'aggravent chaque année.

Les stratégies de développement rural : la démarche ascendante ou itérative

C'est en 1987, au séminaire de Porto Rico, que les causes des échecs ont été analysées et les éléments nécessaires pour la réussite des projets

de LAE ont été dégagés. Un consensus entre chercheurs et développeurs s'est concrétisé dans un petit livre « *Land husbandry* » ou « L'art de choyer sa terre » qui contient l'essentiel de ce que nous avons appelé la GCE, la Gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols (ROOSE, 1987-88). L'objectif est avant tout de répondre aux besoins des paysans en intensifiant la production de biomasse (donc des rendements et de la sécurité) : la LAE n'est qu'un produit secondaire mais indispensable du développement. Cette stratégie s'appuie sur un dialogue continu entre les paysans, les techniciens (les chercheurs) et l'administration et se développe en 4 phases :

1. enquête sur l'extension, les formes, les causes et les facteurs des dégradations, sur la perception par les paysans des problèmes et sur leurs méthodes de gestion de l'eau et de la fertilité des sols. C'est une phase de sensibilisation et de mise en confiance : chacun y apporte sa compétence. Finalement, une analyse globale du système d'exploitation du terroir (petit bassin) doit permettre de dégager les lignes essentielles des aménagements privés et publics à mettre en œuvre ;

2. expérimentation et démonstration des solutions proposées par les paysans et les techniciens : comparaison de leur faisabilité, efficacité, rentabilité chez les paysans et avec leur aide ;

3. évaluation des risques de dégradation, de l'efficacité des méthodes expérimentées et réajustement du plan global d'aménagement du bassin tenant compte des intérêts des paysans (productivité des terres et de son travail) et des intérêts régionaux ou nationaux (stabilité du paysage, risques d'inondation, d'envasement, de dégradation du réseau routier, etc.) ;

4. enfin, généralisation à l'échelle des versants (ou des bassins versants) d'un plan global d'aménagement progressif par la communauté rurale, avec l'aide de l'État. Création d'associations rurales de crédit et de gestion de l'environnement, service de conservation des sols, manuel présentant la diversité des choix techniques en fonction des conditions écologiques et socio-économiques.

Dans cette stratégie, le paysan est appelé non seulement à participer à la réalisation et à l'entretien des dispositifs antiérosifs, ce qu'il est le seul à pouvoir faire, mais à dialoguer avec les techniciens à chaque étape : à définir les problèmes à résoudre en priorité, à trouver des solutions adaptées aux conditions locales, à évaluer les modèles proposés et à les modifier. Bref, le paysan peut devenir un moteur de la vulgarisation s'il comprend qu'il s'agit

de son intérêt à court terme et qu'il peut s'approprier les innovations proposées.

ORIENTATIONS CONCERNANT LA LUTTE ANTIÉROSIVE EN MILIEU MÉDITERRANÉEN

À la suite des résultats, nous avons présenté les conclusions des chercheurs concernant les méthodes de lutte antiérosive à appliquer dans chaque condition particulière. Il ne peut être question ici d'établir une liste exhaustive des techniques à appliquer dans chaque cas mais d'attirer l'attention sur les points majeurs ou particuliers à la zone méditerranéenne.

La zone méditerranéenne couvre une grande variété de situations

En fonction du climat

- saharien Pluie < 100 mm
- aride Pluie < 200 mm = collecte du ruissellement
- semi-aride Pluie < 400 mm = culture en position basse
- semi-humide Pluie 400-800 mm = culture sur toute la surface
- de montagne Pluie ETR Gel = couverture permanente sur les versants raides, cultures irriguées dans les vallées ou les replats.

En fonction de la lithologie

- sur argilite, marne, schiste, terrains peu perméables, glissants : choisir entre diversion ou dispersion des eaux
- sur grès, calcaire, granite, terrains filtrants : choisir entre infiltration totale ou dispersion des eaux

En fonction des objectifs

- amont : développement rural centré sur les besoins des paysans
- aval : protection des barrages, qualité des eaux, besoins des citadins

En fonction de la topographie (piedmonts chauds, montagne plus fraîche et plus humide)

En fonction de la pression démographique et de la motivation des paysans.

Il ne peut donc y avoir de recette générale mais il faut trouver des solutions locales à chacune des situations : les gestionnaires des terres que sont les paysans et les éleveurs peuvent aider à mieux saisir toute la diversité du milieu et à découvrir les stratégies traditionnelles qui peuvent servir de point de départ à un meilleur dialogue et à des améliorations techniques.

La gestion des eaux

Une des clés de la réussite des programmes de lutte antiérosive en région méditerranéenne consiste à définir correctement le mode de gestion des eaux de surface, à la fois pour améliorer la production de biomasse et réduire les risques d'érosion.

Quatre systèmes de gestion des eaux de surface ont été développés qui ont donné naissance à des types de structures antiérosives bien différenciés.

LA COLLECTE DES EAUX DE RUISSELLEMENT (*runoff farming*)

Elle consiste à capter les eaux de ruissellement pour irriguer des plantations qui n'auraient pas de chance de survivre en milieu semi-aride sans un complément d'eau.

De nombreux systèmes ont été étudiés autour du Sahara comme par exemple, les jessours, les magden, tabbias et meskat (El HAMANI, 1977-83 ; PONTANIER, 1988 ; BONVALLOT, 1986 ; REIJ *et al.*, 1988 ; HUDSON, 1987). Les eaux captées n'iront pas grossir les débits de pointe des oueds qui provoquent les gros transports solides. Il existe actuellement de nombreux projets de barrages collinaires au Maghreb à la fois pour procurer des eaux propres pour les populations environnantes et surtout pour piéger les sédiments et protéger les grands barrages contre l'envasement accéléré. (PONTANIER, *com. pers.*).

L'INFILTRATION TOTALE

Il s'agit de techniques culturales améliorant la capacité d'infiltration (paillage, billonnage cloisonné), ou de structures antiérosives comme les fossés aveugles permettant de stocker temporairement les eaux de pluies excédentaires ou de terrasses méditerranéennes en gradin servant souvent à la fois à canaliser de l'eau d'irrigation et à stocker toutes les pluies incidentes. Ces techniques sont applicables en milieu bien drainant, non sujet aux glissements de terrain en milieu semi-aride ou tropical humide.

LA DIVERSION DES EAUX RUISSELANTES SUR LES VERSANTS CULTIVÉS VERS DES EXUTOIRES AMÉNAGÉS (fig. 2)

Il s'agit de capter le ruissellement en nappe avant qu'il s'organise en rigole et ravine, prenne de la vitesse et acquière une énergie propre au ruissellement. De nombreuses formes de fossés, de diguettes, de terrasses et de banquettes de diversion ont été développées selon les auteurs et leur lieu de travail (BENNET, 1939 ; GRECO, 1979 ; etc.).

Cependant, leur efficacité réelle reste à démontrer et leur usage est remis en cause dans les pays en développement par les chercheurs et les praticiens pour des raisons pratiques (perte de terrain, coût élevé, difficulté à la mise en place et à l'entretien) et théoriques (ruptures et ravinement lors des averses exceptionnelles) (HEUSCH, 1986 ; ROOSE, 1986).

LA DISSIPATION DE L'ÉNERGIE DU RUISSELLEMENT ÉTALÉE EN NAPPE SUR LE VERSANT GRÂCE À LA RUGOSITÉ DE LA SURFACE DU SOL ET À DES MICROBARRAGES PERMÉABLES

Là où l'infiltration totale n'est pas possible (terrains argileux mouvants ou peu perméables), on tente de développer un nouveau système qui consiste à maintenir la vitesse et le niveau d'énergie du ruissellement en-dessous d'un seuil à partir duquel il creuse des rigoles et des ravines (seuil de 25 cm/sec défini par HÜLSTRÖM). En divisant le versant à l'aide de microbarrages perméables (cordons de pierres, bandes enherbées, haies vives, etc.), on ralentit le ruissellement, on le force à s'étaler, à perdre sa charge solide et son énergie. En 5 à 10 ans, il se forme des terrasses progressives concaves à pente réduite, séparées par des talus fixés biologiquement (ROOSE, 1986).

Diversité des acteurs en fonction de la diversité des processus en cause

Diverses formes d'érosion, divers processus se manifestent à l'échelle d'une colline. On distingue :
- 3 processus progressifs (dégradation des matières organiques, érosion en nappe et rigole, érosion mécanique sèche) qui entraînent à terme, la croissance du ruissellement, le décapage de l'horizon humifère et la diminution du potentiel de production (10 à 100 ans). Les causes et les facteurs de ces dégradations peuvent être modifiés par les paysans qui seuls peuvent gérer leur terroir. L'essentiel est de couvrir le sol, réduire la pente et d'augmenter la rugosité du sol ;

- 3 processus très brutaux (ravinement, glissement de terrain, inondations) mais localisés et qui ne se manifestent que lors des événements exceptionnels (orage violent, averses ou train d'averses) à la suite d'une mauvaise gestion du terroir, des réseaux routiers et des oueds. Pour maîtriser ces types catastrophiques d'érosion, il faut faire appel à des techniques élaborées, exigeant de gros moyens financiers hors de portée des paysans (reboisements, drains, seuils en gabions). C'est pourquoi nous avons subdivisé nos suggestions en fonction des acteurs.

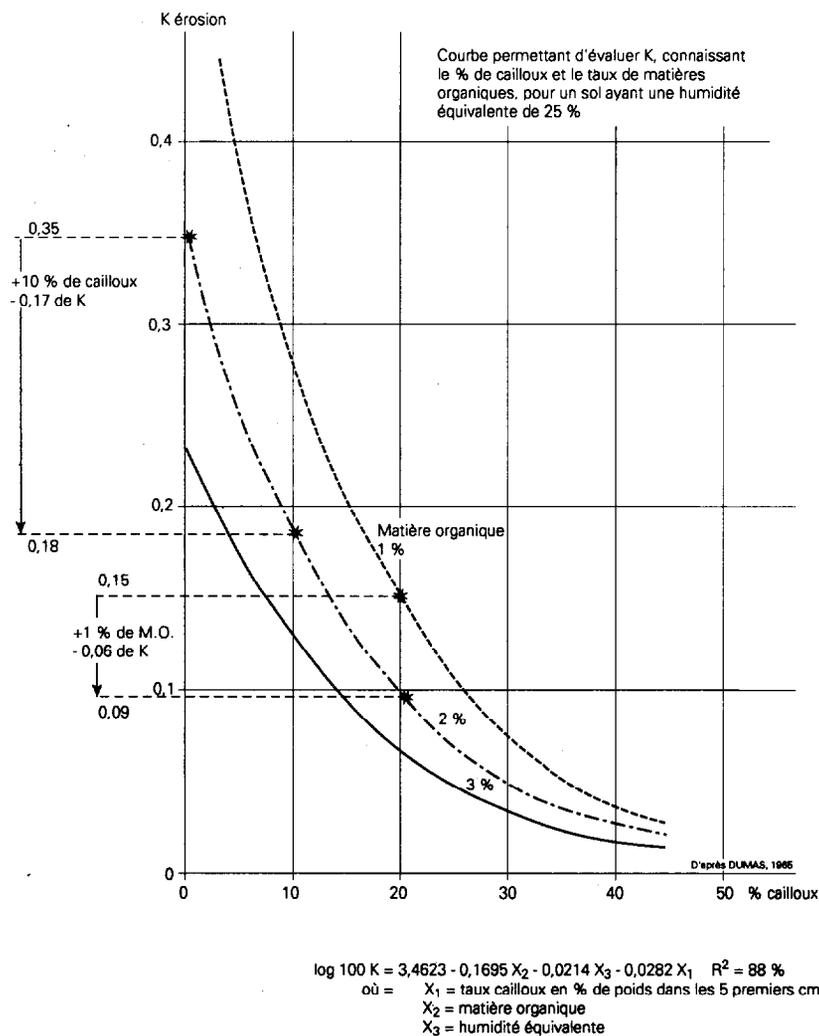


FIG. 1. - Influence du taux de cailloux et de matières organiques sur l'érodibilité des sols tunisiens (d'après DUMAS 1965)
Tunisian soil erodibility in relation with % of stone and organic matter of the topsoil (5 cm).

Estimation de l'érodibilité de l'horizon labouré du sol (K) en fonction du taux de cailloux dans les 5 premières centimètres (en poids %) du taux de matières organiques (%) et de l'humidité équivalente (%).

Conclusion :

Si on augmente de 1 % le taux de matière organique du sol, on réduit l'érosion de 3 à 9 %.

Si on augmente de 10 % le taux de cailloux en surface, on réduit l'érosion de 10 à 20 %.

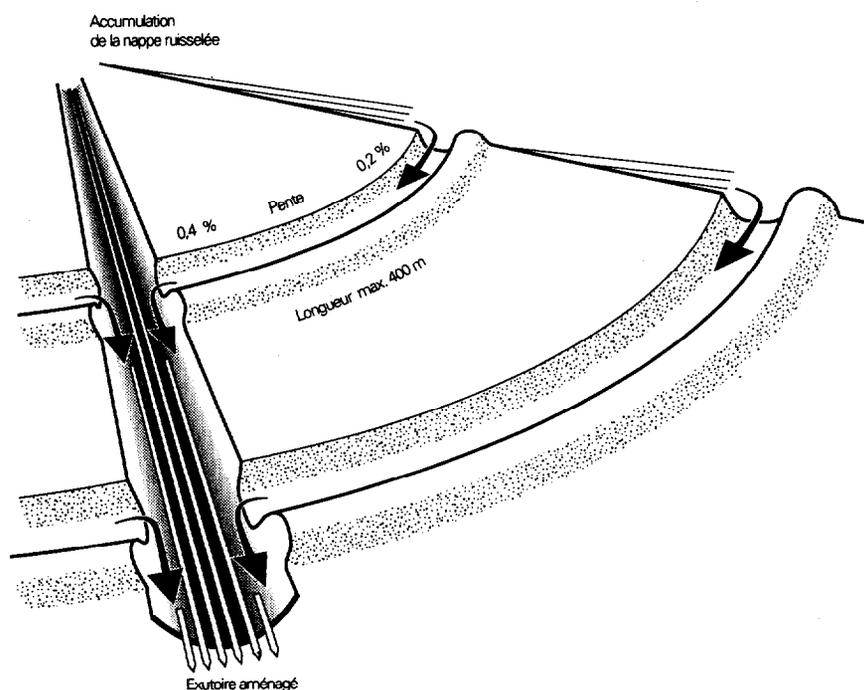


FIG. 2. - La diversion des eaux de ruissellement : principes, pratique et inconvénients.
Terracing for runoff diversion : principles, practices and difficulties.

Principe. - L'accumulation de la lame ruisselée le long du versant aboutit au ravinement.

Pour éviter le cumul de l'énergie du ruissellement, il convient d'évacuer le ruissellement à faible vitesse (canaux à pente croissant de 0,2 à 0,4 %) hors des champs cultivés vers les exutoires aménagés.

En principe, dès qu'il se forme des rigoles profondes, on doit évacuer le ruissellement.

En réalité. - Les versants étant complexes, il n'y a pas forcément d'accumulation d'énergie du ruissellement à cause de la rugosité de la surface du sol.

De plus on observe des piègeages le long des versants et le ravinement est souvent discontinu (voir thèse Planchon).

Il en résulte que dans certains cas l'érosion spécifique diminue si la pente s'allonge.

Les sols ont une sensibilité très variable à l'érosion linéaire.

Inconvénients des terrasses de diversion. - Cette méthode n'empêche pas la dégradation du sol au niveau du champ par la battance des pluies : l'érosion en nappe continue.

La méthode coûte cher à l'installation et à l'entretien. Elle exige une étude topographique très fine (sinon débordements).

Si les fossés ne sont pas curés régulièrement des sables qui s'y accumulent, il y a débordement et formation de ravines.

Les paysans constatent une perte de surface utile (de 5 à 20 % selon l'espacement et la pente) sans amélioration des rendements. De plus, les champs cultivés ont des largeurs variables si la pente n'est pas homogène et ces structures en creux gênent le trafic des tracteurs sur les pièces de terre découpées en bandes.

Propositions adressées aux autorités régionales et aux projets

Les résultats des recherches ont montré que la majorité des transports solides qui se déposent en amont des barrages proviennent de la divagation des oueds, des glissements de terrain et des ravines. Les travaux de restauration des terrains en montagne, de correction torrentielle et de fixation des berges dépassent largement la compétence des paysans et relèvent des services techniques publics. Pour atteindre une certaine cohérence d'ensemble, il faudrait envisager les propositions suivantes.

UN PLAN D'OCCUPATION DES SOLS, définissant en chaque commune les zones à risques naturels, les zones à protéger par une couverture végétale permanente (forêt claire ou parcours améliorés), les zones de culture intensive près des points d'eau, les zones cultivables moyennant certaines précautions (talus végétalisés ou cordons de pierres) et les zones d'habitat. De la comparaison entre ce plan d'occupation des terres et la carte d'utilisation actuelle du sol découlent les actions à entreprendre.

UN CONSEIL DE GESTION DES TERRES, un service de vulgarisation plutôt que de conservation des sols,

chargé de conseiller les propriétaires qui le demandent ou ceux dont la gestion est si mauvaise qu'elle met en danger les terres voisines (ravine). Il pourrait intervenir sous forme d'encouragements plutôt que de coercition : il serait le lieu de dialogue entre la population et l'Administration.

UNE POLITIQUE DE REBOISEMENT OU PLUTÔT DE REVÉGÉTALISATION DES ZONES À PROTÉGER, pentes trop fortes, berges de ravines et des oueds, bords des pistes et des villages. En montagne, l'abondance des pluies est à la fois une richesse et un risque. Les pluies abondantes qui tombent sur les sommets bien protégés par une végétation arbustive s'infiltreront pour réapparaître plus tard au niveau des sources et du débit de base des rivières : la forêt peut fonctionner comme un château d'eau.

Mais, en Algérie, nous avons constaté que bien des ravines trouvent leur origine dans les eaux de ruissellement qui s'échappent des plantations forestières de protection (pin d'Alep). À 20 ans, les arbres atteignent à peine 1 à 4 mètres de haut et couvrent moins de 40 % de la surface du sol. Le surpâturage laisse des arbres difformes, invendables, peu de sous-bois, un sol tassé, peu couvert, encroûté. Sur les sentiers parcourus par le bétail, la surface du sol brille dès les premiers millimètres de pluie. Dans les zones où les arbres ont du mal à survivre ($P < 400$ mm), il vaudrait peut-être mieux planter des arbustes et un sous-bois herbacé qui remplirait mieux le rôle de pâturage permanent. Le problème reste de gérer ce pâturage amélioré communautaire.

UNE POLITIQUE DE GESTION DES EAUX ET DE DÉVELOPPEMENT DE PÔLES D'AGRICULTURE INTENSE

Les eaux des toits, le drainage des pistes, les sources et le ruissellement des zones dénudées ou rocheuses peuvent être captés dans des citernes, des jessours, des magdens (mare) ou des petites retenues collinaires et servir à divers usages ménagers ou agricoles au lieu de raviner les versants. En s'appuyant sur les techniques traditionnelles, on peut développer des pôles d'agriculture intensive, sorte de jardins multiétagés où sont associés les arbres fruitiers et toute une série de plantes potagères et fourragères.

LES CHEMINS ET PISTES RURALES : création, entretien et réhabilitation. Ils sont souvent à l'origine de ravines. Il convient de fixer les talus avec de l'herbe (mottes en losanges, voir le système chinois) et des eucalyptus menés en taillis pour dessécher l'assiette de la piste. Les bordures des chemins,

des pistes et même des routes doivent être stabilisées par 2 bandes d'herbes rases qui doivent être fauchées, jamais décapées. Le drainage doit être évacué tous les 10-20 m par de petites saignées coupant la piste en diagonale (système suisse) ou réuni contre le talus amont (contre-pente), évacué par des buses et accompagné jusqu'au fond de la vallée. Comme les buses coûtent cher, on les écarte souvent trop si bien que le fossé s'érode, que les buses se bouchent ou que les flots abondants creusent des ravines dans les terres cultivées peu cohérentes en contrebas.

AMÉNAGEMENT DES RAVINES

Leur évolution dépend de la masse d'eau qui transite et du carré de sa vitesse. Il faut donc chercher à réduire les sources de ruissellement (surfaces nues), fixer le fond des ravines avec des seuils perméables (pierres sèches, gabions, grillages s'appuyant sur des fers cornières et des tendeurs) et végétaliser les sédiments et les versants en profitant au maximum des microniches écologiques et de la diversité des espèces ; voir en annexe, « Les 10 règles à respecter pour aménager une ravine ».

Actuellement, on utilise des moyens mécaniques lourds et très coûteux pour aménager les ravines. Il faut compter 1 million de FF pour stabiliser une grosse ravine de 2 km de long à l'aide de gabions (500 FF le m³).

Des recherches sont en cours pour mettre au point des méthodes bien moins coûteuses (les seuils en grillage de fer tendu sur cornière coûte 3 fois moins cher), pour permettre l'installation rapide d'une végétation fixatrice diversifiée permettant non seulement d'arrêter les transports solides mais de valoriser l'aménagement et d'intéresser les paysans voisins à son entretien.

CORRECTION DES OUEDS ET AMÉNAGEMENT DES PETITES VALLÉES

Il s'agit de réduire la vitesse du courant dans les zones où il creuse : le fond du lit (seuils empierrés en travers) ou les berges (épis en gabion et végétalisation au ras de l'eau). En principe, les techniques sont connues, mais en pratique, on constate beaucoup d'interventions maladroites aboutissant à l'anéantissement des champs cultivés dans les vallées. Le lit majeur devrait être gardé en culture pérenne (arboriculture fruitière avec couverture fourragère).

Propositions adressées aux communautés paysannes

Mais la lutte antiérosive ne sera réussie que lorsque les communautés rurales auront pris en charge leurs problèmes d'environnement... avec les encouragements de l'État. Il faut leur proposer des actions où elles trouvent leur intérêt immédiat et alléger la pression foncière en créant d'autres pôles d'activités (artisanat, commerce, tourisme, etc.).

DES STRUCTURES CONSERVATOIRES POUR INTENSIFIER L'AGRICULTURE (fig. 3).

1. *Des jardins multiétagés* (fruitier + potager + fourrager) autour des points d'eau : quelques milliers de m² où sont concentrés l'eau, la fumure, les produits phytosanitaires sur des espèces sélectionnées qui trouveront acheteurs sur le marché des primeurs.

2. *Des talus enherbés* en courbe de niveau, structures linéaires où se concentrent les eaux, la terre et les nutriments des versants. Leur rôle est double : former des terrasses progressives en cassant l'énergie du ruissellement et diversifier la production en associant des cultures arborées (fruit, fourrage, bois) aux cultures traditionnelles d'hiver (céréales et légumes secs). De telles structures existent dans certaines régions du Maghreb (et d'ailleurs) qui paraissent stables tant que la motorisation ne bouscule pas les talus.

3. *Des zones d'élevage couvertes en permanence* (forêts claires, parcours enrichis ou prairies permanentes) dont il faut reconstituer le capital végétal fourrager et réorganiser le mode d'exploitation (bergers professionnels).

UNE POLITIQUE DE GESTION DE LA BIOMASSE, DE L'ÉLEVAGE ET DE LA FERTILITÉ DES SOLS

L'élevage, le fumier et le compost

L'élevage est un moyen remarquable de valoriser la biomasse végétale tout en concentrant les éléments fertilisants sur les terres cultivables. Certains techniciens chargés du développement de l'élevage auraient tendance à considérer que plus il y a de bêtes dans un terroir et plus on assure l'entretien de la fertilité des sols. Or, il y a des limites (la capacité de production fourragère) à ne pas dépasser sans quoi l'environnement se dégrade soit par pollution des eaux (ex. les porcs en Bretagne), soit par surpâturage du capital végétal entraînant à moyen terme le ruissellement et la dégradation des sols : ce dernier cas est très fréquent sur les parcours et les forêts du Maghreb. L'élevage est une source de santé (lait et protéines) et de revenus indispensable pour les petits exploitants. Mais, le passage

à travers le tube digestif du bétail ne restitue au sol que 30 % de la biomasse et de ses nutriments : il faut donc que le bétail circule en dehors des zones de culture pour que le petit propriétaire puisse fumer tous ses champs cultivés. Le rôle des pâturages communaux est donc vital pour les petits paysans, mais à force d'être surpâturés, la productivité des parcours devient médiocre et les sols dégradés sont ravinés par le ruissellement.

À partir d'un certain seuil, le pâturage extensif pose de graves problèmes d'aménagement : de plus, la divagation du bétail constitue un véritable obstacle à toute tentative de revégétalisation, d'aménagement et d'intensification.

Par ailleurs, en général *le fumier* n'a pas fermenté si bien que la « poudrette » (déjections animales piétinées et séchées au soleil) contient peu d'azote et une masse de graines d'adventices prêtes à germer ! En Algérie, ces poudrettes sont souvent mal utilisées, déversées sur le bord des ravines où elles vont constituer l'origine de diverses pollutions !

Pour améliorer la qualité et la quantité de ce fumier, il faudrait que le bétail demeure en stabulation (au moins la nuit) sur une litière pailleuse accumulée pendant une période suffisante pour assurer l'imbibition de celle-ci par les urines et l'amélioration du bilan de l'azote.

Une fosse « fumiè-re-compostière-poubelle » sous un ombrage arboré : la formation d'un vrai compost demande de disposer d'un volume considérable de biomasse (3 m³), de la hacher, de l'arroser, de la retourner et enfin de la ramener aux champs : c'est un travail important. Au mieux, on ne perd que 60 % de la biomasse et des nutriments (surtout la potasse) et il se passe 3 à 6 mois avant qu'on puisse la restituer au champ. C'est pourtant un moyen d'entretenir la fertilité si l'on n'a pas de bétail ; mais, en réalité, les enquêtes montrent que 90 % des « compostières » sont vides ! Les seules qui ont une chance de fonctionner correctement sont les fosses situées à l'aval des maisons et qui reçoivent à la fois les déchets végétaux divers, les balayures et les eaux ménagères ainsi que la litière bien imbibée des animaux : certains paysans produisent jusqu'à 5 m³ de ce « compost-fumier » par an. *La plantation d'arbres* (fruitiers, légumineuses) autour de la fosse permet à la fois de maintenir l'atmosphère humide, de récupérer les nutriments qui s'échappent en solution dans le drainage et de produire une biomasse utile pour améliorer la qualité du compost.

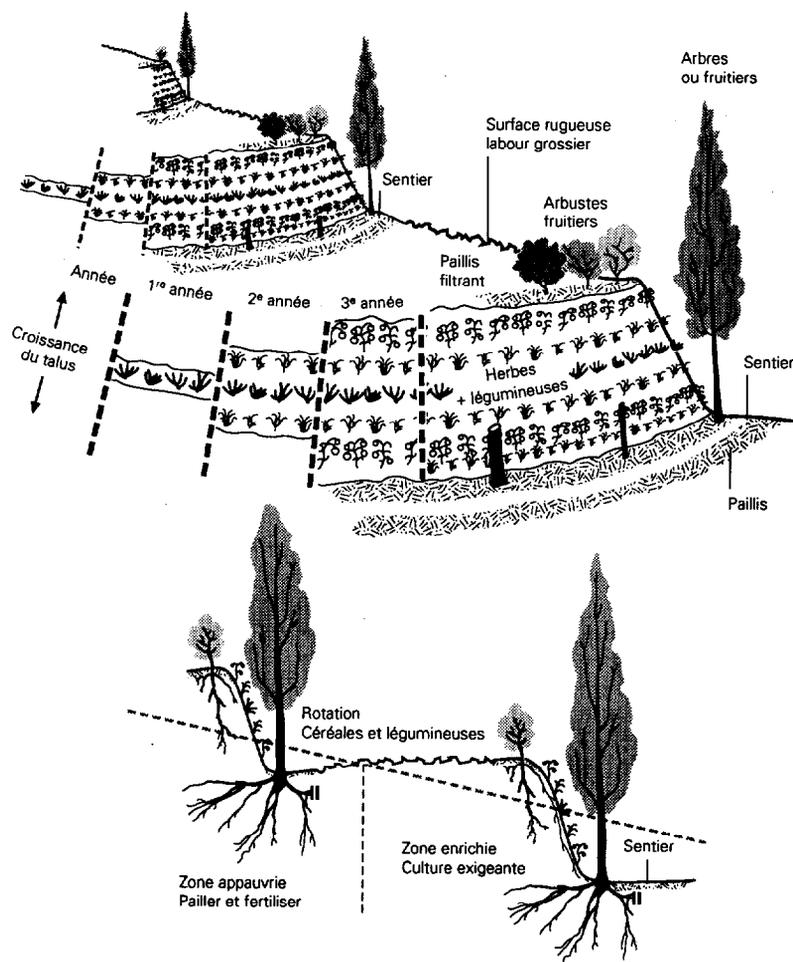


FIG. 3. - Modèle évolutif de structure antiérosive perméable en vue de la dissipation de l'énergie du ruissellement.
Grassed ambankment and progressive terracing for runoff energy dissipation.

COMMENTAIRES

Objectif

1. - Briser l'énergie du ruissellement en étalant la nappe à la surface du sol protégée par un tapis dense de graminées.
2. - Modifier la couverture pédologique en une suite de zones cultivées à pente faible et de talus protégés (hauteur 0,5 à 2 mètres selon l'épaisseur et la résistance du sol).

Méthodes

an 1 : tracer la courbe de niveau (tous les 5 à 20 mètres selon la pente et l'épaisseur du sol) en plantant des graminées pérennes. Le labour va apporter 10 cm de sol en amont et retrancher 10 cm de sol en aval.

an 2 : planter 2 lignes supplémentaires de graminées X légumineuses (*Hedisarum*).

an 3 : planter encore 2 lignes supplémentaires, puis planter des arbres à croissance vigoureuse au pied du talus pour réduire les risques de glissement.

La couverture pédologique étant devenue d'épaisseur variable, on peut faire pousser des plantes exigeantes en amont du talus (zone d'accumulation de sol, d'eau, de fertilité) et des plantes plus rustiques à l'aval du talus (zone de décapage à restaurer).

Avantages

Le terrassement se fait progressivement par érosion et surtout par le travail du sol (+ 20 cm de hauteur par an). L'aménagement est totalement maîtrisé par les paysans.

Cet aménagement ne demande pas de gros investissements, ni de gros entretiens : le piquetage n'exige pas une topographie aussi précise que les fossés.

Il n'y a pas de perte de terrain (6 à 20 % pour les fossés) car le talus est un lieu de production privilégié (bois, fruitiers, fourrages).

La gestion des résidus de culture et le travail du sol

Dans de nombreux pays chauds et humides, le paillage a été utilisé avec succès pour protéger le sol contre l'énergie des pluies et du ruissellement et comme fertilisant organique pour maintenir la structure et la capacité d'infiltration du sol. En effet, le paillage, même à faible dose (2-6 t/ha) peut réduire les problèmes d'érosion de 95 % alors que l'enfouissement de la biomasse comme engrais vert ne peut les réduire que de 5 % (WISCHMEIER et SMITH, 1958-78). De plus, toute la biomasse et les nutriments contenus dans le paillage sont redistribués progressivement au bénéfice des cultures. Comme les litières forestières, le paillage entretient une bonne activité biologique à la surface du sol et accélère le *turn-over*.

Pourtant, il est pratiquement inconnu en Algérie, en dehors des jardins potagers. En zone méditerranéenne, toute la biomasse disponible est mobilisée pour le bétail : en période de pénurie, il arrive que la paille soit vendue au prix de l'unité fourragère. Le problème revient donc à produire suffisamment de biomasse pour alimenter le bétail et entretenir un niveau satisfaisant de matières organiques dans le sol. Le labour grossier après la récolte est souvent un bon moyen de soustraire les chaumes au feu et au pâturage extensif des troupeaux nomades. Le semis de plantes fourragères (ou de légumes secs) dans la jachère qui suit traditionnellement la céréale devrait améliorer très nettement la production fourragère et le bilan organique du sol, surtout si un léger apport d'engrais minéraux permet leur développement rapide dès les premières pluies d'automne. Cependant, du point de vue de la lutte antiérosive, les pailles laissées à la surface du sol sont plus efficaces que celles qui sont enfouies. Il existe maintenant des machines capables de travailler le sol sans enfouir toute la paille (dents ou décompacteuses).

Les apports minéraux

Les sols méditerranéens sont rarement trop acides mais ils peuvent présenter des excès de Na, de sels et de carbonate entraînant différents blocages d'assimilation des plantes. Et si les sols sont fortement carencés en certains nutriments (N et P), il est probable que les plantes et la fumure organique le soient aussi. Il faut donc prévoir des apports minéraux complémentaires à la fumure organique et les apporter à petite dose localement à portée des plantes pour assurer leurs besoins physiologiques aux stades cruciaux en tenant comp-

te des risques d'érosion, de lessivage et surtout d'immobilisation dans le sol.

L'agroforesterie

L'association des arbres/arbustes à enracinement profond aux cultures vivrières et fourragères nous paraît indispensable en montagne pour *augmenter la production de biomasse* (perches, bois de feu, fourrage, paillage et fruits) et pour *améliorer la sécurité de l'exploitation*, car les arbres à objectifs multiples fixent le terrain et constituent une épargne à intérêt composé parfois meilleure que le bétail (s'il existe un marché local), mais plus lent.

Le rôle positif des arbres sur l'environnement est bien connu mais beaucoup plus lent à se manifester en zone semi-aride où il a du mal à couvrir le sol et même à survivre en milieu surpâturé. Si le ruissellement issu des « forêts de protection » est à l'origine de ravines, il faudra s'orienter vers d'autres usages des arbres : la valorisation par l'arboriculture fruitière ou fourragère des ravines aménagées, des points d'eau et des talus. L'intérêt pourrait se porter sur des haies vives de fruitiers (amandiers, vigne, opuntia en zone chaude ; cerisiers, poiriers, pommiers, pêchers en altitude) en amont des talus (zone la plus fertile), et sur quelques arbres à fruits ou à bois noble au pied des talus (oliviers, frênes, noyers, cerisiers, amandiers ou figuiers). La présence de ces arbres à enracinement profond et des herbes fourragères assure une bonne fixation des talus. Pour éviter une trop grande compétition entre les arbres et les cultures (bandes de 10 à 20 mètres), il faudra vulgariser la taille des branches et des racines superficielles dès les premières années.

CONCLUSION

La lutte antiérosive a une très longue histoire. Pourtant, il reste encore beaucoup à faire pour la rationaliser en fonction de la variété des risques écologiques, des processus de dégradation des sols et de l'environnement socio-économique. Trop longtemps on s'est contenté d'appliquer les méthodes mises au point par BENNET en 1939, pour la Grande Plaine américaine : devant les échecs qui s'accumulent, une nouvelle stratégie participative régionalisée est proposée qui tient mieux compte du milieu et des besoins immédiats des paysans.

Tout l'art de la GCES consiste :

- à formuler un diagnostic sur les risques réels de dégradation des sols, sur leur perception par les

gestionnaires des terres, sur les facteurs sur lesquels jouer pour réduire les problèmes d'environnement tout en intensifiant la production ;

- à n'intervenir que là où la population est fortement sensibilisée au problème et à l'aider à prendre elle-même en charge son environnement.

L'État devrait réduire son intervention à la formation d'un service d'encadrement, à l'organisation de gros travaux (reboisement, correction torrentielle, petits barrages collinaires, etc.) et d'un environnement socio-économique favorable (coopératives, routes, points d'eau, écoles, marchés, etc.).

La lutte antiérosive en milieu méditerranéen est forcément assez différente des méthodes de conservation des sols dans les régions tropicales car l'énergie du ruissellement sur les sols argilo-limoneux et les pentes fortes des montagnes méditerranéennes est bien plus importante que l'énergie des pluies. Surtout en zones semi-arides, la gestion des eaux de surface a une importance majeure. Si la couverture végétale et la lithologie jouent un grand rôle, les effets de la pente sont complexes et dépendent non seulement des états de surface mais aussi des zones d'engorgement au bas des versants. Il manque des données de base sur les aspects économiques de l'érosion, sur la faisabilité,

l'efficacité et la rentabilité des différentes méthodes de lutte antiérosive.

Un gros effort d'imagination reste à faire pour passer de la défense et restauration des terres dégradées à la gestion conservatoire des eaux disponibles, de la biomasse et de la fertilité des terres en production et pour évoluer de la gestion des sédiments au fond des ravines à la valorisation des aménagements.

Introduire des structures antiérosives dans un milieu rural peu motivé ou préparé, cela coûte cher, c'est inefficace et voué à l'échec à moyen terme... mais cela plaît aux bailleurs de fonds qui souhaitent des aménagements spectaculaires. La vraie solution consiste à modifier en partie le système de production pour rétablir un équilibre dans le paysage. Cela prend du temps (5 à 10 ans) mais c'est plus efficace, plus durable et plus profitable pour les paysans.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier particulièrement Roger PONTANIER, Bernard HEUSCH et Pierre MILLEVILLE qui m'ont beaucoup aidé à améliorer le manuscrit par leurs remarques constructives.

Manuscrit accepté par le Comité de rédaction le 10 mars 1992

BIBLIOGRAPHIE

- ARABI (M.), ROOSE (E.), 1989. - Influence de quatre systèmes de production méditerranéenne de moyenne montagne algérienne. *Bulletin Réseau Érosion*, 9 : 39-51.
- ARABI (H.), 1991. - Influence de quatre systèmes de production sur le ruissellement et l'érosion en milieu montagnard méditerranéen (Médeä, Algérie) ; Thèse géographique univ. Grenoble, 272 p.
- AUBERT (G.), 1987. - Quelques remarques sur la susceptibilité des sols de la région de Médeä (Algérie) vis-à-vis de l'érosion hydrique. Séminaire INRF de Médeä (Algérie), *Bulletin Réseau Érosion*, 7 : 97-99.
- BENNET (H. H.), 1939. - *Elements of soil conservation*. Mac Graw-Hill, New York.
- BONVALLOT (J.), 1986. - Tabias et Jessour du Sud tunisien. Agriculture dans les zones marginales et parade à l'érosion. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, 22, 2 : 163-172.
- BOURGES (J.), FLORET (C.), GIRARD (G.), PONTANIER (R.), 1979. - Étude d'un milieu représentatif du Sud Tunisien type Segui : la citerne Telman 1972-77. Ministère Agriculture, Orstom Tunis, 87 p. + annexes, *multigr.*
- BOUROUGAA (L.), MONJENGUE (S.), 1989. - Fixation biologique et mécanique des ravines dans les Beni-Slimane (Algérie). *Bulletin Réseau Érosion*, 9 : 19-29.
- BREULEUX (F.), 1976. - Inventaire des travaux de conservation des eaux et des sols en Tunisie. SIDA/Tunis, 5, 13, 24 p. + annexes.
- CLAUZON (G.), VAUDOUR (J.), 1969. - Observation sur les effets de la pluie en Provence. *Annales de Géographie*, 13,4 : 390-405.
- Colloque sur la conservation et la restauration des sols. Institut français de coopération technique, faculté agronomie de Téhéran (Iran), 1960. - Unesco, 550 p.
- CORMARY (Y.), 1972. - Prédétermination des crues dans le cadre des mesures de CES en Tunisie. Thèse docteur ingénieur, Montpellier, 681 p.
- COSANDEY (C.), 1986. - De l'origine de l'écoulement rapide de crue dans un petit bassin versant breton. *Z. Geomorph. Suppl.* 60 : 177-186.
- COSANDEY (C.), BOUDJEMLINE (D.), ROOSE (E.), LELONG (F.), 1990. - Étude expérimentale du ruissellement sur des sols à végétation contrastée du Mont Lozère (France). *Z. Geomorph.* 34, 1 : 61-73.

- DAVY (L.), 1989. - Une catastrophe naturelle : l'averse mémoire du 3.10.1988 et ses conséquences hydrologiques. *Hydrologie continentale*, 4, 2 : 75-92.
- DELHOUME (J.P.), 1987. - Ruissellement et érosion en bioclimat méditerranéen semi-aride de Tunisie Centrale. In « Processus et mesures de l'érosion », édit. CNRS : 487-507.
- DELHUMEAU (M.), 1981. - Étude de la dynamique de l'eau sur parcelles du bassin de l'Oued Sidi Ben Naceur (Nord Tunisie), Orstom Tunis, n° ES-185, 80 p. + annexes, *multigr.*
- DEMMAK (A.), 1982. - Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale. Thèse docteur ingénieur, Paris, 323 p. + cartes.
- DEMMAK (A.), 1984. - Recherche d'une relation empirique entre les apports solides spécifiques et les paramètres physico-climatiques des bassins : cas algérien. In *AISH Public* n° 144 : 403-414.
- DUMAS (J.), 1965. - Relation entre l'érodibilité des sols et leurs caractéristiques analytiques. *Cah. Orstom, sér. Pédol.* 3, 4 : 307-333.
- EL AMAMI (S.), 1977. - Traditional technologies and development of the african environments. Utilisation of runoff water : the meskats and other techniques in Tunisia. In *African Environment*, 3, 3-4 : 107-120.
- EL AMAMI (S.), 1983. - Les aménagements hydrauliques traditionnels en Tunisie. Centre de Recherche du G.R., Tunis.
- EL AMAMI (W. D.), 1954. - Mechanics of water erosion. *Congr. Int. Sci. Sol, Léopoldville* ; 3 : 381.
- ESCADAFAL (R.), MTIMET (A.), ASSELINE (J.), 1986. - Étude expérimentale de la dynamique superficielle d'un sol limoneux aride (Bir Lahmar, Sud Tunisien). Trois campagnes de mesures sous pluies simulées sur différentes préparations du lit de semence de l'orge. Orstom, Bondy, 63 p. *multigr.*
- GRECO (J.), 1979. - La défense des sols contre l'érosion. La Maison rustique, Paris, 183 p.
- HEUSCH (B.), 1970. - L'érosion du PRE-RIF. Une étude quantitative de l'érosion hydraulique dans les collines marneuses du Pré-Rif Occidental (Maroc). *Annales Recherche Forestière au Maroc*, n° 12 : 9-176.
- HEUSCH (B.), MILLIES-LACROIX (A.), 1971. - Une méthode pour estimer l'écoulement et l'érosion dans un bassin. Application au Maghreb. *Mines et Géologie*, Rabat (Maroc), 33 : 21-39.
- HEUSCH (B.), 1982. - Étude de l'érosion et des transports solides en zone semi-aride. Recherche bibliographique sur l'Afrique du Nord. Projet RAB/80/04 PNUD, 83 p.
- HEUSCH (B.), 1986. - Assesment of sediment discharge measurements in the Maghreb countries. Int. Symposium « Erosion and Sedimentation in Arab countries », IASH, Bagdad, 18 p.
- HEUSCH (B.), 1986. - Cinquante ans de banquettes de DRS en Afrique du Nord : un bilan. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 22, 2 : 153-162.
- HUDSON (N.W.), 1987. - Soil and water conservation in semi-arid areas. *FAO Soils Bull.* 57.
- KOUIDRI (R.), ARABI (M.), ROOSE (E.), 1989. - Premiers résultats de quantification du ruissellement et de l'érosion en nappe sur jachères en Algérie. *Bulletin Réseau Érosion* 9 : 33-38.
- LAOUINA (A.), 1992. - Recherches actuelles sur les processus d'érosion au Maroc. *Bull. Réseau Érosion* 12, 12 : 292-299.
- LEFAY (O.), 1986. - Étude de l'efficacité des travaux de DRS en Algérie. Rapport de stage Cnearc-Orstom-INRF, 50 p. + annexes.
- LILIN (Ch.), 1986. - Histoire de la restauration des terrains en montagne. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 22, 2 : 139-146.
- LILIN (Ch.), KOOHAFKAN (A.P.), 1987. - Techniques biologiques de conservation des sols en Haïti. *FAO*, 36 p.
- LOVEJOY (J. B.), NAPIER (T.), 1986. - Rome, Conserving soil : Sociological insights. *J. Soil and water conservation*, 41, 5 : 304-310.
- LOWDERMILK (W. C.), 1949. - Érosion et conservation des sols en Algérie. Alger, Service DRS et Hydraulique.
- MARCHAL (J.-Y.), 1979. - L'espace des techniciens et celui des paysans. In « Maîtrise de l'espace agricole et développement », *Mém. ORSTOM*, n° 89 : 245-252.
- MARCHAL (J.-Y.), 1986. - Vingt ans de lutte antiérosive au Nord du Burkina Faso. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 22, 2 : 173-180.
- MASSON (J.-M.), 1971. - L'érosion par l'eau en climat méditerranéen. Méthode expérimentale de mesure à l'échelle du champ. Thèse Docteur Ingénieur, Montpellier, 213 p.
- MAZOUR (M.), 1992. - Les facteurs de risque de l'érosion en nappe dans le bassin d'ISSER-TLEMEN (Algérie). *Bull. Réseau Érosion* 12 : 300-313.
- MOLDENHAUER (W. C.), HUDSON (N. W.), 1988. - Conservation farming on steep lands. WASWC-SWCS, Ankeny, Iowa, USA, 296 p.
- MONJAUZE (A.), 1962. - Rénovation rurale : rôle et dispositifs des aménagements d'infiltration. Délégation Générale, Département Forêts, Service DRS d'Alger, 16 p.
- OLIVRY (C.), HOORELBECK (J.), 1989-1990. - Érodibilité des terres noires marneuses de la vallée du Bréch (France, Alpes du Sud). *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 25, 12 : 95-110.
- PLANCHON (O.), FRITSCH (E.), VALENTIN (C.), 1987. - Rill development in a wet savannah environment, *Catena suppl.* 8 : 55-70.
- PLANTIE (L.), 1961. - Technique franco-algérienne des banquettes de DRS. Délégation Générale, Département Forêts, Service DRS d'Oran (Algérie), 22 p.
- PONTANIER (R.), 1988. - Synthèse bibliographique sur maîtrise et utilisation des eaux de ruissellement, CES en zones arides. Orstom Tunis, 33 p., *multigr.*
- PUTOD (R.), 1956. - La protection des vignes contre l'érosion. *Revue Agronomie Afrique du Nord*, 1992 : 567-576.

- REIJ (C.), MULDER (P.), BEGEMAN (L.), 1988. - Water harvesting for plant production. *World Bank Technical Paper*, n° 91, 123 p.
- REVEL (J.-C.), COSTE (N.), CAVALIE (T.) et COSTES (J.-L.), 1990. - Premiers résultats expérimentaux sur l'entraînement mécanique des terres par le travail du sol dans le terrefort toulousain (France). *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 25 : 1,2 : 111-118.
- ROBERT (R.), 1970. - Comportement des systèmes antiérosifs de l'Administration forestière au Pré-Rif (Maroc). *Bulletin Liaison Ingénieurs Forestiers Maroc*, 2 : 33-46.
- ROOSE (E.), 1971. - Note technique concernant l'érosion hydrique au Maroc. *Bulletin Liaison Ingénieurs Forestiers du Maroc*, 6 : 47-52.
- ROOSE (E.), 1972. - Comparaison des causes de l'érosion et des principes de lutte antiérosive en région tropicale humide, tropicale sèche et méditerranéenne. Communication Journées Études du Génie, Rural, Florence : 417-441.
- ROOSE (E.), 1973. - Dix sept années de mesures expérimentales de l'érosion et du ruissellement sur un sol ferrallitique sableux de basse Côte-d'Ivoire. Thèse Doct. Ing. Fac. Science Abidjan, 125 p.
- ROOSE (E.), 1977. - Érosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest : vingt années de mesures. *in Trav. et Doc. ORSTOM Paris*, n° 78 ; 108 p.
- ROOSE (E.), 1986. - Terrasses de diversion ou micro-barrages perméables ? *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 22, 2 : 197-208.
- ROOSE (E.), 1987. - Évolution des stratégies de lutte antiérosive. Nouvelle démarche : la GCES Séminaire INRF de Medea (Algérie). *Bulletin Réseau Erosion*, 7 : 91-96.
- ROOSE (E.), CAVALIE (J.), 1988. - New strategy of water management and soil conservation. Applications in developed and developing countries. Proceeding of ISCO 5 « Land conservation for the future generation », Bangkok : 913-920, edited by S. Rimwanich.
- ROOSE (E.), 1988. - Water efficiency and soil fertility conservation on steep slopes of some tropical countries : Workshop SWCA + WASWC, Puerto Rico : Edit. Moldenhauer and Hudson, SWC Society, Ankeny USA, 296 p.
- ROOSE (E.), 1991. - La GCES : Lutte antiérosive et gestion de terroir : Cours Cnearc Montpellier. Etscher Ouagadougou, 175 p.
- SACCARDY (L.), 1950. - Note sur le calcul des banquettes de restauration des sols. *Terres et Eaux*, Alger, 11 : 3-19.
- SARI (D.), 1977. - L'homme et l'érosion dans l'Ouarsenis (Algérie). Sned, Alger, 624 p.
- SHAXSON (T. F.), HUDSON (N.), SANDERS (D. W.), ROOSE (E. J.), MOLDENHAUER (W. C.), 1989. - Land Husbandry. A framework for soil and water conservation. SWC Amer. Soc., WASWC, Ankeny Iowa, USA, 64 p.
- WASSMER (P.), 1981. - Recherches géomorphologiques au Rwanda. Étude de l'érosion des sols dans la préfecture de Kibuye (Rwanda). Thèse 3^e cycle, Strasbourg, 156 p.
- WISCHMEIER (W. H.), SMITH (D. D.), 1958. - Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Trav. Am. Geophys. Union*, 39 : 285-291.
- WISCHMEIER (W. H.), SMITH (D. D.), 1978. - Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. Washington, *USDA handbook*, n° 537, 58 p.

ANNEXE

Dix règles à respecter pour aménager les ravines

L'érosion ravinante paraît si importante dans la dynamique des paysages méditerranéens qu'il nous paraît difficile de ne parler que de la lutte contre l'érosion aréolaire au niveau des terres en production.

Aussi, nous avons pensé utile de décrire brièvement, dans les limites de cette note, les règles élémentaires que nous avons apprises à respecter au cours des expérimentations de l'INRF dans les ravines de Souagui et d'ailleurs. (VOIR BOURUGAA et MONJENGUE, 1989).

1 - Ne pas chercher à boucher une ravine tant que l'on n'a pas amélioré l'infiltration dans le bassin, sinon le ruissellement creusera un autre lit. Stabiliser un canal capable d'évacuer les débits de pointe de la crue décennale sans ronger le fond ni les berges.

2 - L'aménagement complet d'une ravine peut être réalisé progressivement en 2 à 5 ans, mais il doit concerner tout le bassin dès la première saison des pluies. La stabilisation mécanique du fond de ravine par différents types de seuil doit précéder la stabilisation biologique des sédiments et des versants ; si on inverse l'ordre, les plantations sont emportées lors des crues. L'aménagement mécanique n'est terminé que quand on a éteint les sources de sédiments, stabilisé le fond, les versants et les têtes de ravines : mais l'entretien doit se poursuivre après chaque crue importante.

3 - L'emplacement des seuils doit être choisi avec soin selon l'objectif visé.

- Si on cherche à rehausser le fond de ravine pour que les versants atteignent leur pente d'équilibre, il faut choisir des gorges étroites où des seuils légers pourront s'appuyer sur des versants solides.

- Si on cherche à stocker le maximum de sédiments ou à récupérer des espaces cultivables, il faut choisir des zones à faible pente, les confluent de ravines secondaires et construire de gros ouvrages qui seront rehaussés progressivement.

4 - L'écartement entre les seuils est fonction de la pente du terrain et de la hauteur des seuils. Le déversoir du seuil aval doit être à la même altitude que la base du seuil amont, à la pente de compensation près (1 à 10 % selon la nature du fond de ravine), laquelle peut être observée sur place (zone stable sans creusement, ni sédimentation). Dans une première phase, on peut doubler cet écartement et construire les seuils intermédiaires dès que les seuils sont comblés de sédiments.

5 - Pour éviter le basculement des seuils sous la pression hydrostatique des coulées plus ou moins boueuses, il faut préférer des seuils drainants, en gabions ou pierres sèches si on dispose de pierres de qualité satisfaisante, en grillage de fer (ou de plastique « brise-vent » résistant aux Ultra Violet) ou même en sacs de terre renforcés en surface, s'il ne circule que des sédiments fins (sur marne, schiste ou argilites).

6 - Pour éviter les renards (tunnels dans les couches limono-argileuses qui se creusent sous les seuils par la sous-pression qui se développe lors de l'écoulement rapide des crues et du léchage du lit par les eaux tourbillonnant à travers les gabions), et les reprises de sédiments antérieurement piégés, il faut bien ancrer les seuils dans le fond et les flancs de ravine, tapisser la tranchée d'une couche filtrante (sable puis galets). L'énergie de chute de l'eau tourbillonnante qui saute du déversoir doit être amortie par une bavette (enrochement, petit gabion ou grillage plus touffes d'herbes) ou par un contre barrage (cuvette d'eau stabilisée).

7 - Pour éviter le contournement des eaux sur le côté du seuil, le courant doit être bien centré dans l'axe de la ravine par les ailes du seuil, plus élevées que le déversoir central.

8 - Le déversoir central doit être renforcé par de grosses pierres plates, du ciment ou des fers cornières pour résister à la force de cisaillement des sables et pierres qui dévalent à vive allure au fond des ravines.

9 - La végétalisation peut se faire naturellement si on a atteint la pente d'équilibre, mais on aide souvent la nature en couvrant rapidement les sédiments piégés par des herbes rhizomateuses fourragères et en fixant les bords à l'aide d'arbres choisis pour leur aptitude à croître rapidement dans ces niches écologiques particulières (peupliers, frênes, eucalyptus, bambous, cannes de Provence, etc.) et à rentabiliser les aménagements par leur production en bois, fourrage ou fruits (noyers, poiriers, abricotiers).

10 - Le bétail doit être tenu à l'écart de l'aménagement. Par contre, il semble indispensable d'intéresser les paysans riverains à la gestion de l'espace aménagé, à la récolte des produits ... et à l'entretien des seuils après chaque crue.